Agricultural Science and Management J. 8 (2) : 5-12 (2025)

การศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่มีผลต่อต้านโรคจาก *Fusarium* spp. และการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรตทางดินในพืชทุเรียน

Study of the Effectiveness of Soil Amendment Product Against Disease from *Fusarium* spp., and the Release of Ammonium and Nitrate from the Soil of Durian Plants

สิรินภา ช่วงโอภาส[1*] และวิภาวรรณ ท้ายเมือง[1]

Sirinapa Chungopast[1*] and Wipawan Thaymuang[1]

Received: January 29, 2024
Revised: March 11, 2024
Accepted: March 12, 2024

Abstract: The appropriate soil amendment product application can improve soil chemical, physical and biological properties. The research aimed to investigate the biological and chemical properties of the soil amendment product. The quantification of bacteria in a specific culture medium, isolation of bacteria from soil with and without soil amendment product, testing their efficiency in inhibiting the pathogenic fungus *Fusarium* spp., and soil nutrients were analyzed in column. The experiment findings revealed a tenfold increase in bacterial numbers approximately 18 days after the addition of soil amendment products compared to the untreated soil. Numerous beneficial nitrogen-fixing bacteria were discovered. However, bacteria beneficial to degrade cellulose were present in very small quantities. When soil amendment products were mixed with PDA at a 2% concentration, they inhibited Fusarium sp. 1 by approximately 40% in Petri dishes. Bacterial isolates NA03, NA08, and NA09 effectively inhibited *Fusarium* spp. Moreover, the soil amendment products resulted in reduced ammonium and nitrate levels in soil cultivated with durian compared to untreated soil. Applying this products led to the utilization of ammonium and nitrate by nitrogen-fixing bacteria within the products for growth at 18 days. Therefore, the use of this product delayed the durian plants nitrogen intake from the soil for a short period of time.

Keywords: *Fusarium* spp., bacteria, nitrogen, durian

บทคัดย่อ: การใช้ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่เหมาะสมช่วยให้สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์และชีวภาพของดินดีขึ้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติทางชีวภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์นี้ วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียในอาหารเพาะเลี้ยงเฉพาะ คัดแยกแบคทีเรียออกจากดินที่มีและไม่มีผลิตภัณฑ์ปรับปรุงดิน ทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งราก่อโรค *Fusarium* spp. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินในกระบอก พบว่า จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นประมาณ สิบเท่าที่ 18 วันหลังจากการเติมผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ มีแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์มาก อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในการย่อยเซลลูโลสถูกพบในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อผสมผลิตภัณฑ์ปรับปรุงดินกับอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ จะยับยั้ง *Fusarium* sp.18 วัน ดังนั้น การใช้ผลิตภัณฑ์นี้ทำให้ต้นทุเรียนชะลอการได้รับไนโตรเจนจากดินช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: agrsrnp@ku.ac.th

1 ได้สูงสุดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ในจานเพาะเชื้อ แบคทีเรียที่คัดแยกได้ไอโซเลต NA03, NA08 และ NA09 มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *Fusarium* spp. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ปรับปรุงดินยังส่งผลให้ระดับแอมโมเนียมและไนเตรตในดินที่ปลูกทุเรียนลดลงเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่ระยะเวลา 18 วัน ดังนั้น การใช้ผลิตภัณฑ์นี้ทำให้ต้นทุเรียนชะลอการได้รับไนโตรเจนจากดินช่วงระยะเวลาสั้นๆ

คำสำคัญ: *Fusarium* spp., แบคทีเรีย, ไนโตรเจน, ทุเรียน

คำนำ

ผลผลิตทุเรียนในประเทศไทยสามารถสร้างรายได้จากการส่งออกที่สูงขึ้นโดยมีมูลค่าประมาณ 45,346 ล้านบาท คิดเป็นปริมาณการส่งออก 653,564 ตันในปี 2562 (Thongkaew *et al*. 2021) และยังมีการผลิตอย่างต่อเนื่องเพราะทุเรียนสามารถส่งออกในต่างประเทศได้จำนวนมาก จึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในประเทศไทย การประชุมคณะกรรมการพัฒนาและบริหารจัดการผลไม้ ครั้งที่ 1/2566 รายงานสถานการณ์การผลิตไม้ผลภาคตะวันออก พบว่าผลผลิตทุเรียนในปี 2565 มีจำนวน 732,330 ตัน และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นในปี 2566 อีก 3.30 เปอร์เซ็นต์ (สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, 2566) อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ช่วยให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีมี 3 ประการ คือ ปัจจัยการผลิตที่ดี การป้องกันโรค และสุขภาพดินที่ดี ส่วนการใช้สารปรับปรุงดินอาจส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยเพิ่มอินทรียวัตถุ ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน (สุทธิภัทร, 2563) การใส่สารปรับปรุงดินบางชนิดอาจส่งผลต่อการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน และปริมาณไนโตรเจนมีผลต่อการออกดอกของพืช มีรายงานว่าในสภาวะที่ไนโตรเจนต่ำจะช่วยให้พืชออกดอกเร็วขึ้นจากการทดสอบกับพืช *Arabidopsis thaliana* (Weber and Burow, 2018) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชผลมักนำไปสู่การเลื่อนเวลาการออกดอกและการสุกงอมของข้าว ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้ปัจจัยการผลิตและระยะเวลาในการปลูก (Zhang *et al*., 2021b) ผลการวิเคราะห์พืชสามารถใช้ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ (จำเป็น, 2547) ในพืชทุเรียนพบว่าไนโตรเจนในใบตอนแรกเพิ่มขึ้นในระยะการเจริญเติบโตและลดลงในระยะสืบพันธุ์ ไนโตรเจนในใบจะต่ำที่ระยะการพัฒนาผล (Pinduma and Angeles, 2009) จึงเป็นผลให้ในช่วงระยะเวลาการพัฒนาไม้ผล เกษตรกรมีแนวโน้มที่จะใช้ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงแต่มีไนโตรเจนต่ำ (Salakpetch, 2005) นอกจากนี้การใส่สารปรับปรุงดินอาจส่งผลต่อการเพิ่มจุลินทรีย์ดิน การเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จะทำให้ดินมีระบบนิเวศที่ดี (Zhang *et al*., 2021a) และป้องกันโรคได้ (Falardeau *et al*., 2013) โดยเฉพาะโรคพืชที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium* spp. มีรายงานว่า *F. solani* และ *Lasiodiplodia pseudotheobromae* เป็นราก่อโรคสาเหตุของโรคลำต้นเน่าในต้นทุเรียน (Chantarasiri and Boontanom, 2021) นอกจากนี้ผลการศึกษาโรคกิ่งแห้งในทุเรียนจากเชื้อรา ได้จัดจำแนกชนิดของราไว้ 3 กลุ่มคือ *F. incarnatum, F. solani* และ *F. mangiferae* (Pongpisutta *et al.,* 2023) และมีรายงานว่ามีการใช้ความเข้มข้นของสารทดสอบการยับยั้งรา *F. oxysporum* ซึ่งเป็นปุ๋ยหมักจากเศษผักผสมกับ *Posidonia oceanica* (70:30% vol:vol) ที่อัตรา 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20% ให้ผลการยับยั้งที่แตกต่างกัน (Kouki *et al*., 2012) การเกิดโรคจากเชื้อราก่อให้เกิดภัยคุกคามร้ายแรงต่อคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ทุเรียน ในปัจจุบันมีสารปรับปรุงดินหลายชนิดซึ่งผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อระบบนิเวศดินต่างกัน การศึกษาด้านประสิทธิภาพของสารปรับปรุงดินในการผลิตทุเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมโรคในทุเรียนยังมีน้อย งานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินจากบริษัท เพชรดี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด มาทดสอบ ซึ่งมีส่วนประกอบของสารคาร์บอนอินทรีย์ ที่ได้จากการนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมไปผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย มีกากชานอ้อยหรือฟิลเตอร์เค้ก และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีพีเอช 8.69

ปริมาณอินทรียวัตถุและคาร์บอนอินทรีย์เท่ากับ 4.09 และ 2.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.18, 0.50 และ 0.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราที่ใช้สำหรับต้นทุเรียนคือ 5 กิโลกรัมต่อต้น ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานการศึกษาสมบัติทางชีวภาพ ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีของดิน (ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรต) และสมบัติทางชีวภาพของดิน (จำนวนและกิจกรรมของแบคทีเรีย) เมื่อใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่มีผลต่อต้านโรคจากเชื้อ *Fusarium* spp. และผลของการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรตทางดิน ซึ่งส่งผลต่อการออกดอกของพืชทุเรียน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างดินและรากต้นทุเรียน

เก็บตัวอย่างดินพิกัด 12.798611°N, 101.761139°E ของ ตำบลทุ่งควายกิน อำเภอแกลง จังหวัดระยอง โดยสุ่มเลือกต้นทุเรียนที่มีขนาดทรงพุ่มขนาดใกล้เคียงกัน จำนวน 4 ต้น เก็บรอบทรงพุ่มที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ที่ระยะเวลา 1 8 18 และ 30 วัน นำดินผสมคลุกเคล้ากันและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและชีวภาพ สำหรับการแยกเชื้อรา *Fusarium* spp. เก็บดินและรากบริเวณที่ต้นทุเรียนเกิดโรค พิกัด 12.874427°N, 101.892034°E ตำบลเขาแก้ว อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี จากข้อมูลของระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่ เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินเกษตรกรรายแปลง กรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) สมบัติดินที่ใช้ในกระบอกทดสอบและการแยกเชื้อราเป็นชุดดินท่าแซะ (Te) ลักษณะสมบัติของดินเป็นดินลึกมาก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาล ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีสีน้ำตาลถึงสีเหลืองปนน้ำตาล การอุ้มน้ำของดินปานกลาง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินบนแล้วลดลงตามความลึก ข้อจำกัดคือ มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำและเนื้อดินเป็นดินปนทราย

การวิเคราะห์ปริมาณและกิจกรรมของแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

การตรวจสอบปริมาณและกิจกรรมของแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ความสามารถตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต หรือย่อยสลายเซลลูโลสได้ในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินและในดินที่ปลูกทุเรียน โดยระบุจำนวนแบคทีเรีย วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 3 ตำรับการทดลอง 3 ซ้ำ คือ 1) ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน 2) ดินปลูกทุเรียนที่ไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ 3) ดินทุเรียนที่ใส่ผลิตภัณฑ์ ชั่งตัวอย่างดินและผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินอย่างละ 10 กรัม จากนั้นทำการเจือจางสารละลายลงเป็น 10-1-10-6 ดูดสารละลายดินจากความเข้มข้นที่ 10-4, 10-5 และ 10-6 อย่างละ 0.1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อเพื่อทดสอบกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ในอาหารที่มีความจำเพาะ ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนเจริญในอาหาร nitrogen free medium (NF) (Kifle and Laing, 2016) แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเจริญในอาหาร Pikovskaya medium (PVK) (Pikovskaya, 1948) และแบคทีเรียย่อยเซลลูโลสเจริญในอาหาร carboxymethyl cellulose (CMC) (Immanuel *et al*., 2006) เมื่อบ่มเชื้อเป็นเวลา 5-7 วัน

การตรวจสอบการยับยั้งรา *Fusarium* spp.

ทดสอบการยับยั้งรา *Fusarium* spp. ในอาหาร potato dextrose agar (PDA) ซึ่งผสมผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0.5 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทดสอบการยับยั้งรา *Fusarium* spp. โดยใช้แบคทีเรียที่คัดแยกได้จากตัวอย่างดินและผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน เลี้ยงเชื้อราในอาหาร PDA ใช้ cork borer ขนาด 5 มิลลิเมตร ตัดชิ้นวุ้นที่มีเชื้อราเจริญมาวางในอาหาร PDA อีกครั้ง จากนั้นจุดเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้จำนวน 4 จุด ในตำแหน่งที่ห่างจากขอบจานอาหารเลี้ยงเชื้อประมาณ 3 เซนติเมตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน เมื่อเชื้อราและแบคทีเรียเจริญ คำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของ *Fusarium* spp. จากสูตรเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโต = [(C - T)/C]×100 โดยที่ C และ T ค่าเฉลี่ย

เส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อก่อโรคที่เลี้ยงในอาหาร PDA (control) และค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อก่อโรคที่เลี้ยงในอาหาร PDA ที่ทรีตด้วยแบคทีเรีย (Aghighi *et al*., 2004)

การวิเคราะห์การปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรตในกระบอกทดสอบ

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของดินที่ไม่ใส่และใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน โดยเตรียมกระบอกท่อพีวีซีใส่ดินที่ปลูกทุเรียน 4 กิโลกรัม ขนาดท่อสูง 35 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร บ่มกับผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินตามอัตราที่แนะนำ 5 กิโลกรัมต่อต้น โดยรดน้ำให้มีความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ตลอดช่วงการบ่มดินเป็นเวลา 30 วัน โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระยะ 1 8 18 และ 30 วัน มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรต โดยการสกัดด้วย 2 N KCl ใช้เวลา 60 นาที แล้วนำมากลั่นด้วยวิธี Kjeldahl (Nelson and Sommers, 1980)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ Duncan Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม R version 2.9.1 (R Core Team, 2018)

ผลการทดลอง

จำนวนและกิจกรรมของแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินและในดินที่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน

เมื่อนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ดินปลูกทุเรียนที่ไม่ใส่และใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน มาวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรีย พบว่า ในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ 1.8×105 ซีเอฟยูต่อกรัมดินแห้ง และมีแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ 7.5×104 ซีเอฟยูต่อกรัมดินแห้ง (Table 1) ตัวอย่างดินทั้งที่ไม่ใส่และใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินพบว่ามีแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนอยู่ในช่วง 103-104 ซีเอฟยูต่อกรัมดินแห้ง ไม่พบแบคทีเรียละลายฟอสเฟตแต่พบแบคทีเรียย่อยเซลลูโลสเพียง 6 โคโลนี จึงไม่สามารถนับจำนวนแบคทีเรีย อย่างไรก็ตาม สามารถทำให้แบคทีเรียบริสุทธิ์และนำไปใช้เป็นหัวเชื้อที่เป็นประโยชน์ต่อไปได้ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนในดำรับที่ใส่สารปรับปรุงดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดำรับที่ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน ($P < 0.05$) ที่ระยะเวลา 8 18 และ 30 วัน ตามลำดับ และมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน (Table 2) โดยดินที่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้นอยู่ที่ 4.7×104 และ 3.3×104 ซีเอฟยูต่อกรัมดินแห้ง ตามลำดับ ที่ 8 วัน และปริมาณแบคทีเรียเหล่านี้จะสูงขึ้นประมาณ 9-10 เท่าของดินที่ไม่ได้ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ที่ 18 วัน ส่วนปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่ 30 วัน มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.5×104 และ 6.2×104 ซีเอฟยูต่อกรัมดินแห้ง ตามลำดับ

ผลการคัดแยกแบคทีเรียในสิ่งทดลองสามารถคัดแยกจากภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ดินปลูกทุเรียนที่ไม่ใส่และใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ได้ทั้งหมด 22 ไอโซเลต ได้แก่ แบคทีเรียทั่วไปเจริญในอาหาร NA 10 ไอโซเลต (รหัส NA01-NA10) แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนเจริญในอาหาร NF 5 ไอโซเลต (รหัส NF01-NF05) แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเจริญในอาหาร PVK 3 ไอโซเลต (รหัส PA01-PA03) และแบคทีเรียย่อยเซลลูโลสเจริญในอาหาร CMC 4 ไอโซเลต (รหัส CMC01-CMC04)

Table 1 Average of bacterial numbers of soil amendment product was shown in each bacterial group.

Bacterial groups	Bacterial numbers ($\times 10^4$ CFU/g Dw)
Total bacteria	18
Nitrogen-fixing bacteria	7.5
Phosphate-solubilizing bacteria	-
Cellulolytic bacteria	6 colonies

Table 2 Some biological properties in soil where durian is grown.

Day	Treatment	Average of	
		Total bacteria ($\times 10^4$ CFU/g Dw)	Nitrogen-fixing bacteria ($\times 10^4$ CFU/g Dw)
1	C-BIO	0.25	0.22
	T-BIO	0.27	0.24
F-test		ns	ns
C.V. (%)		9.00	8.17
8	C-BIO	3.8^b	0.34^b
	T-BIO	4.7^a	3.3^a
F-test		**	**
C.V. (%)		4.09	9.93
18	C-BIO	0.72^b	0.63^b
	T-BIO	7.1^a	5.7^a
F-test		**	**
C.V. (%)		4.61	4.66
30	C-BIO	5.8^b	3.8^b
	T-BIO	8.5^a	6.2^a
F-test		**	**
C.V. (%)		2.58	3.04

Means within the same column with the different letter are significantly different by DMRT test, ns = non-significant, * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$. C-BIO = soil without soil amendments, T-BIO = soil treated with soil amendments

ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรต

ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตจากกระบอกที่ใส่ดินและใส่ดินผสมผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินไม่มีความแตกต่างกันที่ 1 และ 8 วัน (Figure 1) แต่ที่ 18 วัน มีความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตในดิน ($P < 0.05$) พบว่าดินที่ผสมผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินมีการปลดปล่อยแอมโมเนียม (6.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และไนเตรต (57.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ได้น้อยกว่าดินที่ไม่ผสมสารปรับปรุงดิน ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตเท่ากับ 12.11 และ 64.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และที่ 30 วัน จึงมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรตจากดินที่ผสมผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินเพิ่มขึ้น

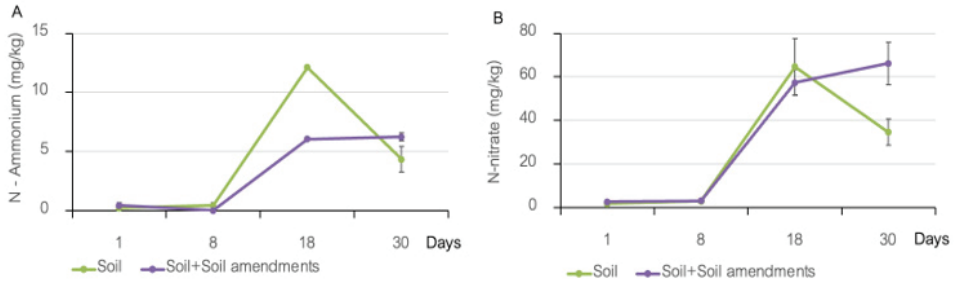

Figure 1 The amount of nitrogen concentration in the form of ammonium (A) and nitrate (B) from the column of soil and soil + soil amendments treatments at 1, 8, 18 and 30 days.

เชื้อราที่คัดแยกได้และผลการทดสอบการยับยั้งรา

ลักษณะโคโลนีและรูปร่างสปอร์ของ *Fusarium* spp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงไว้ใน (Figure 2) โดย *Fusarium* spp. แต่ละชนิดมีลักษณะโคโลนี สีโคโลนี เส้นใยของโคโลนี และขนาดสปอร์แตกต่างกัน สามารถจำแนกตามลักษณะสัณฐานวิทยาได้ 3 ชนิด ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อราโดยใช้สารปรับปรุงดินผสมในอาหาร PDA ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 0.5 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3) ทั้งปัจจัยความเข้มข้นของสารปรับปรุงดินชนิดของ *Fusarium* spp. และปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารปรับปรุงดินและ *Fusarium* spp. มีผลต่อการยับยั้งโคโลนีของรา โดยที่ระดับความเข้มข้นของสารปรับปรุงดิน 2 เปอร์เซ็นต์ มีการยับยั้งรามากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.43 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) และ *Fusarium* spp. ไอโซเลตที่ 1 ถูกยับยั้งมากที่สุด เท่ากับ 36.58 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับ *Fusarium* spp. ไอโซเลตที่ 2 และ 3 ทำให้ขนาดโคโลนีเชื้อราเจริญได้น้อย

ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อราโดยใช้แบคทีเรียที่คัดแยกได้พบว่ามีแบคทีเรียบางชนิดไม่เจริญหลังจากเก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียส และแบคทีเรียบางชนิดเจริญช้าจึงไม่นำมาทดสอบการยับยั้ง ไอโซเลตของแบคทีเรียที่สามารถยับยั้ง Fusarium sp. ไอโซเลตที่ 1 2 และ 3 แสดงใน (Table 4) พบว่าแบคทีเรียไอโซเลตที่ NA08 และ NA09 สามารถยับยั้ง Fusarium spp. ไอโซเลตที่ 1 (Table 4, Figure 3) ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 50.13 และ 52.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P < 0.05$) ในขณะที่ไอโซเลต NA03 สามารถยับยั้ง Fusarium sp. ไอโซเลตที่ 2 และ 3 ได้มากที่สุด (Table 4, Figure 4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.46 และ 29.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P < 0.05$)

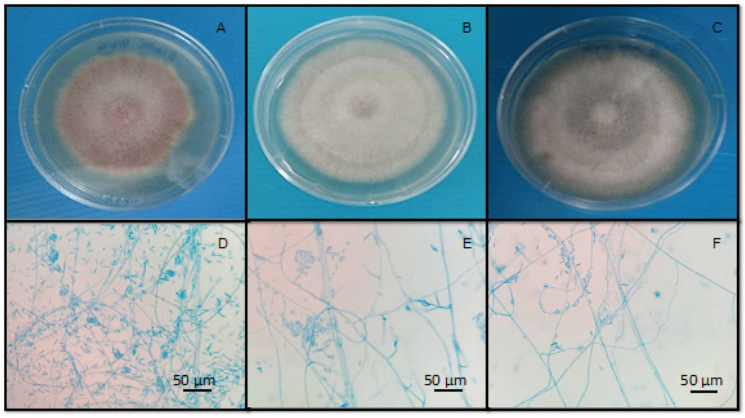

Figure 2 Colony characteristic and spore shape under a microscope at magnification 400X of each Fusarium species isolated from diseased durian roots: *Fusarium* sp. isolate 1 (A, D), *Fusarium* sp. isolate 2 (B, E), and *Fusarium* sp. isolate 3 (C, F), respectively. Bar is 50 µm.

Table 3 Average percentage inhibition of each type of *Fusarium* spp. when cultured on potato dextrose agar (PDA) medium mixed with soil amendment at concentrations of 0.5, 1, and 2%, respectively, incubated for 7 days at room temperature (~30°C).

Concentration of soil amendments	The inhibitory percentage of Fusarium spp. (%)			Average of concentration
	Fusarium sp. isolate 1	*Fusarium* sp. isolate 2	*Fusarium* sp. isolate 3	
0.5%	35.90^{b}	3.33^{f}	8.44^{de}	15.89^{b}
1%	33.85^{b}	6.67^{e}	10.22^{cd}	16.91^{ab}
2%	40.00^{a}	2.86^{f}	12.44^{c}	18.43^{a}
Average of *Fusarium* spp.	36.58^{a}	4.29^{c}	10.37^{b}	
Concentration of soil amendments (CT)		*		
Fusarium spp. (F)		**		
CT * F		**		
C.V. (%)		10.31		

Means within the same column with the different letter are significantly different by DMRT test, * = P < 0.05, ** = P < 0.01

Table 4 Average percentage inhibition of each isolated bacteria on *Fusarium* spp. when cultured on potato dextrose agar (PDA) and incubated for 7 days at room temperature (~30°C).

Isolate	The inhibitory percentage of *Fusarium* spp. (%)		
	Fusarium sp. isolate 1	*Fusarium* sp. isolate 2	*Fusarium* sp. isolate 3
NA02	20.56^{f}	0.00^{c}	0.00b
NA03	33.63^{c}	27.46^{a}	29.21^{a}
NA04	29.26^{cde}	0.00^{c}	0.00^{b}
NA07	30.29^{cd}	4.39^{b}	0.00^{b}
NA08	50.13^{a}	0.00^{c}	0.00^{b}
NA09	52.91^{a}	0.00^{c}	0.00^{b}
NF01	21.09^{ef}	0.00^{c}	0.00^{b}
NF02	0.00^{g}	0.00^{c}	0.00^{b}
NF03	41.66^{b}	0.00^{c}	0.00^{b}
NF04	0.00^{g}	0.00^{c}	0.00^{b}
PA01	34.33^{bc}	0.00^{c}	0.00^{b}
PA02	27.48^{cdef}	0.00^{c}	0.00^{b}
PA03	21.09^{ef}	0.00^{c}	0.00^{b}
CMC01	33.34^{c}	0.00^{c}	0.00^{b}
CMC02	22.66^{def}	0.00^{c}	0.00^{b}
CMC03	0.00^{g}	0.00^{c}	0.00^{b}
CMC04	0.00^{g}	0.00^{c}	0.00^{b}
F-test	*	*	*
C.V. (%)	18.48	37.36	10.08

Means within the same column with the different letter are significantly different by DMRT test, * = P < 0.05
NA: nutrient agar, NF: nitrogen free medium, PA: Pikovskaya agar, CMC: carboxymethyl cellulose agar and the number after the culture medium name is the isolate number.

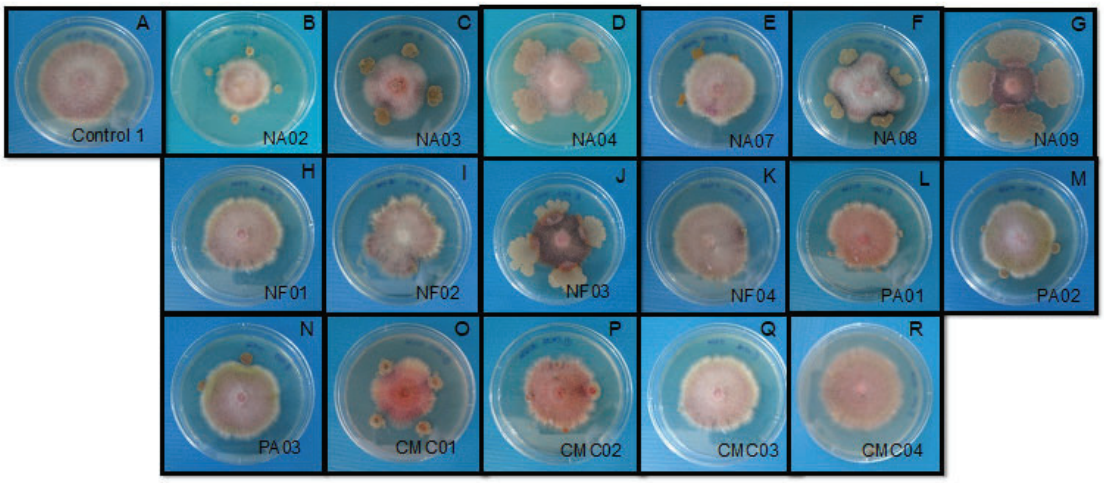

Figure 3 Inhibition of Fusarium sp. isolate 1 by individual bacterial isolates (B-R) cultured on potato dextrose agar (PDA) for 7 days at room temperature (~30°C). Control was uninoculation of bacteria (A).

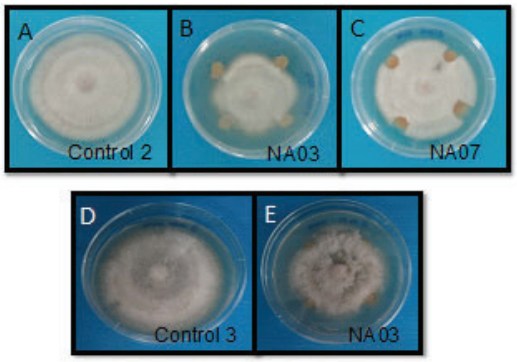

Figure 4 Inhibition of Fusarium sp. isolate 2 and 3 by individual bacterial isolates (B, C, and E) cultured on potato dextrose agar (PDA) for 7 days at room temperature (~30°C). Control of Fusarium sp. isolate 2 and 3 was uninoculation of bacteria (A and D), respectively.

วิจารณ์

การศึกษาสมบัติบางประการทางเคมีและชีวภาพของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ส่งเสริมการปลูกพืชทุเรียน พบแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ซึ่งเป็นแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนมีจำนวนมากที่สุด สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศในรูปก๊าซไนโตรเจน (N_2) ให้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) และเปลี่ยนต่อไปเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งพืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ (Huergo *et al.*, 2008) และงานวิจัยนี้พบแบคทีเรียละลายฟอสเฟตและแบคทีเรียย่อยเซลลูโลสมีความเป็นประโยชน์ต่อพืช แม้ว่าจะมีจำนวนน้อยแต่สามารถแยกเชื้อให้บริสุทธิ์และทำเป็นหัวเชื้อต่อไป ผลการยับยั้งเชื้อ *Fusarium* spp. พบว่าผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินมีส่วนผสมของกากชานอ้อยและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีค่าพีเอชสูง (8.69) ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *Fusarium* spp. ทำให้มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อ ซึ่งสอดคล้องกับ Agarwal and Sarbhoy (1978) ที่รายงานว่า *Fusarium* spp. ทุกชนิดชอบเจริญในที่ที่เป็นกรด โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญของเชื้อในจีนัสนี้อยู่ในช่วง 3.5 ถึง 6.5 (Gupta *et al.*, 2010) พบว่าระดับความเข้มข้นของสารปรับปรุงดิน 2 เปอร์เซ็นต์ ยับยั้งราได้มากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาสารสกัดชนิดต่าง ๆ และ ความเข้มข้นของสารที่ใช้แตกต่างกันมีผลในการยับยั้งรา *Fusarium* spp.

แตกต่างกัน (พิกุล, 2559) นอกจากนี้ยังสามารถคัดแยกแบคทีเรียที่ยับยั้งราก่อโรค *Fusarium* spp. ได้จากผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินและดินที่ไม่ใส่และใส่ผลิตภัณฑ์นี้ โดยเฉพาะแบคทีเรียไอโซเลต NA03, NA08 และ NA09 ที่สามารถยับยั้งรา *Fusarium* spp. ได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Wachowska *et al*. (2017) ที่รวบรวมกลไกต่างๆ ของแบคทีเรียที่สามารถยับยั้งราชนิดนี้ได้ โดยสร้างสารต่อต้านรา สารปฏิชีวนะหรือสร้างสารเมตาบอลิซึม เช่น surfactin, iturin และ fengycin lipopeptides เป็นต้น รายงานของ Handoko *et al*. (2014) ซึ่งศึกษาโรคใบไหม้ของทุเรียนที่เกิดจากรา *Fusarium* spp. พบว่า *Bacillus* spp. สามารถยับยั้งการเจริญของรานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในหลอดทดลอง และรายงานของ Ayala-Torres *et al*. (2023) พบแบคทีเรียอีกหลายชนิดในจีนัส *Bacillus, Delftia, Micromonospora, Pseudomonas, Sphingobacterium, Staphylococcus* และ *Stenotrophomonas* สามารถยับยั้งรา *Fusarium* spp. ดังนั้นหากมีการใช้ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่มีพีเอชสูงและมีแบคทีเรียผสมอยู่ หรือสารอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินเป็นอาหารให้แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในดินเจริญ ส่งผลให้ยับยั้งเชื้อรา *Fusarium* spp. ได้

จากข้อมูลของระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินเกษตรกรรายแปลงแสดงปริมาณอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำในชุดดินท่าแซะ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลของเกษตรกรในพื้นที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในดิน เมื่อวิเคราะห์ดินที่ไม่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินซึ่งนำมาจากพื้นที่ปลูกทุเรียน พบว่ามีปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตสูงกว่าดินที่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่ 18 วัน หรือในอีกทางหนึ่ง ดินที่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่บ่ม 18 วัน จะมีปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตต่ำกว่าดินที่ไม่ใส่ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน เป็นไปได้ว่ามาจาก 2 สาเหตุคือ ในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินมีแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน และภายใต้สภาวะที่ดินมีแหล่งไนโตรเจนมากอยู่แล้วหรือได้แหล่งไนโตรเจนและอินทรียวัตถุจากผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนจะมียีนที่ควบคุมไม่ให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนส จึงไม่ตรึงไนโตรเจนและดึงเอาแหล่งไนโตรเจนจากดินมาใช้เป็นอาหาร (Batista and Dixon, 2019) ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตในดินต่ำลงในช่วงเวลานั้น อีกสาเหตุหนึ่งคือ ในผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินมีกากชานอ้อยผสมอยู่ ซึ่งกากชานอ้อยมีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เป็นโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติกที่ย่อยสลายได้ยากระหว่างกระบวนการหมัก (Kumar *et al*., 2021; Wu *et al*., 2022) อัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่ำมีความสัมพันธ์กับอัตรามิเนอรัลไลเซชันต่ำ (Hoffland *et al*., 2020) จึงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนได้ช้า อีกทั้งจุลินทรีย์ในดินต้องการใช้แหล่งไนโตรเจนจากดินระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ สอดคล้องกับข้อมูลการย่อยสลายช้าลง เนื่องจากไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ (Gea *et al*., 2004; Jacobson, 2004) จุลินทรีย์จะดึงเอาไนโตรเจนในดินมาใช้และทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินขณะนั้นต่ำลง จากทั้ง 2 สาเหตุที่กล่าวข้างต้น เมื่อปริมาณไนโตรเจนต่ำลงจะมีผลทำให้ต้นทุเรียนออกดอก เนื่องจากมีรายงานว่าหากต้นทุเรียนขาดธาตุไนโตรเจนจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเนื่องจากมีอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ในทางตรงกันข้าม การให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงต้นทุเรียนจะบานช้าหรือไม่ออกดอก (Phanomsophon *et al*., 2022)

สรุป

ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินนี้สามารถเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในดินที่ปลูกทุเรียน เมื่อผสมสารนี้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA สามารถยับยั้ง *Fusarium* sp. ไอโซเลตที่ 1 ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการยับยั้งจึงขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อก่อโรค และความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน แบคทีเรีย NA08 และ NA09 สามารถยับยั้ง *Fusarium* spp. ไอโซเลตที่ 1 ได้สูงสุด ขณะที่แบคทีเรีย NA03

มีผลยับยั้งการเจริญของ *Fusarium* spp. ได้ทั้ง 3 ไอโซเลต ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตในดินที่ได้รับสารปรับปรุงดินจะถูกปลดปล่อยออกมาหลังจากบ่มดินไปแล้ว 8 วัน และปลดปล่อยออกมาได้น้อยกว่าดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน เนื่องจากแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์นี้ใช้แหล่งไนโตรเจนจากดินสำหรับการเจริญ หรือจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการเกิดมิเนอรัลไลเซชันในดิน จึงดึงเอาไนโตรเจนจากดินมาใช้ เป็นผลให้ปริมาณไนโตรเจนในดินขณะนั้นลดลง ต้นทุเรียนจึงได้รับปริมาณไนโตรเจนน้อย ส่งผลให้พืชออกดอก และหลังจาก 18 วัน จึงมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรตออกมาสู่ดินมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสนับสนุนโดยโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน บริษัท เพชรดี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด และโปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) ภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. ระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินเกษตรกรรายแปลง กรมพัฒนาที่ดิน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://lddonfarm.ldd.go.th/lddonfarm/main (16 กุมภาพันธ์ 2567).

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 168 หน้า.

พิกุล นุชนวลรรัตน์. 2559. ผลของสารสกัดจากพืชบางชนิดที่มีต่อโรคหลังเก็บเกี่ยวของกล้วยไข่ที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* sp. วารสารวิจัยรำไพพรรณี 10(2): 79-88.

สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร. 2566. รายงานสถานการณ์การผลิตไม้ผลภาคตะวันออกปี 2566. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://doaenews.doae.go.th/archives/16543 (6 ตุลาคม 2566).

สุทธิภัทร แซ่ย่าง. 2563. ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะม่วง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 104 หน้า.

Agarwal, D.K. and A.K. Sarboy. 1978. Physiological studies on four species of *Fursarium* pathogenic to soyabean. Indian Phytopathology 31(1): 24-31.

Aghighi, S., G.H.S. Bonjar, I. Saadoun, R. Rawashdeh and S. Batayneh. 2004. First report of antifungal spectra of activity of Iranian actinomycetes strains against *Alternaria solani, Alternaria alternata, Fusarium solani, Phytophthora megasperma, Verticillium dahliae* and *Saccharomyces cerevisiae*. Asian Journal of Plant Sciences 3: 463-471.

Ayala-Torres, A.M., S. Aranda-Ocampo, C.D. León-García de Alba, C. Nava-Díaz and J.R. Sánchez-Pale. 2023. Antagonistic bacteria against *Fusarium* spp. isolated from sclerotia of Claviceps gigantea in maize (Zea mays). La Revista Mexicana de Fitopatología 41(2): 143-164.

Batista, M.B. and R. Dixon. 2019. Manipulating nitrogen regulation in diazotrophic bacteria for agronomic benefit. Biochemical Society Transactions 47(2): 603-614.

Chantarasiri, A. and P. Boontanom. 2021. *Fusarium solani* and *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, fungal pathogens causing stem rot disease on durian trees (*Durio zibethinus*) in Eastern Thailand. New Disease Reports 44(1): 1-3.

Falardeau, J., C. Wise, L. Novitsky and T.J. Avis. 2013. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of Bacillus subtilis lipopeptides on plant pathogens. Journal of chemical ecology 39: 869-878.

Gea T., R. Barrena, A. Artola and A. Sanchez. 2004. Monitoring the biological activity of the composting process: oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI) and respiratory quotient (RQ) Biotechnology and Bioengineering 88: 520-527.

Gupta, V., A. Misra and R. Gaur. 2010. Growth characteristics of *Fusarium* spp. causing wilt disease in *Psidium guajava* L. in India. Journal of Plant Protection Research 50(4): 452-462.

Handoko, A., A.L. Abadi and L.Q. Aini. 2014. Karakterisasi penyakit penting pada pembibitan tanaman Durian di Desa Plangkrongan, Kabupaten Magetan dan pengendalian dengan bakteri antagonis secara in vitro. Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan) 2(2): 15-22.

Hoffland, E., T.W. Kuyper, R.N. Comans and R.E. Creamer. 2020. Eco-functionality of organic matter in soils. Plant and Soil 455: 1-22.

Huergo, L.F., R.A. Monteiro, A.C. Bonatto, L.U. Rigo, M.B.R. Steffens, L.M. Cruz, L.S. Chubatsu, E.M. Souza and F.O. Pedrosa. 2008. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. CASSÁN, FD; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiologia 17-35.

Immanuel, G., R. Dhanusha, P. Prema and A.J.I.J. Palavesam. 2006. Effect of different growth parameters on endoglucanase enzyme activity by bacteria isolated from coir retting effluents of estuarine environment. International Journal of Environmental Science and Technology 3: 25-34.

Jacobson, S. 2004. Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as fertilizer, Resources, Conservation and Recycling 13: 57-71.

Kifle, M.H. and M.D. Laing. 2016. Isolation and screening of bacteria for their diazotrophic potential and their influence on growth promotion of maize seedlings in greenhouses. Frontiers in plant science 6: 1225.

Kouki, S., N. Saidi, A.B. Rajeb, M. Brahmi, A. Bellila, M. Fumio, A. Hefiène, N. Jedidi, J. Downer and H. Ouzari. 2012. Control of Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. radicis-lycopersici using mixture of vegetable and *Posidonia oceanica* compost. Applied and Environmental Soil Science 2012: 239639.

Kumar, A., V. Kumar and B. Singh. 2021. Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse: Potential, challenges and future perspective. International Journal of Biological Macromolecules 169: 564-582.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1980. Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. Journal of the Association of Official Analytical Chemists 63(4): 770-778.

Phanomsophon, T., N. Jaisue, A. Worphet, N. Tawinteung, B. Shrestha, J. Posom, L. Khurnpoon and P. Sirisomboon. 2022. Rapid measurement of classification levels of primary macronutrients in durian (*Durio zibethinus* Murray CV. Mon Thong) leaves using FT-NIR spectrometer and comparing the effect of imbalanced and balanced data for modelling. Measurement 203: 111975.

Pikovskaya, R.I. 1948. Mobilization of phosphates in soil in relation with vital activity of some microbial species. Mikrobiologiya 17: 362–370.

Pinduma, R.T. and D.E. Angeles. 2009. Relationship between leaf nitrogen concentration and fruit yield of Philippine. Journal of Crop Science 34(1): 53-61.

Pongpisutta, R., P. Keawmanee, S. Sanguansub, P. Dokchan, S. Bincader, V. Phuntumart and C. Rattanakreetakul. 2023. Comprehensive investigation of die-back disease caused by *Fusarium* in Durian. Plants 12(17): 3045.

R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. (Online): Available Source: https://www.R-project.org (October 10, 2023).

Salakpetch, S. 2005. Durian (*Durio zibethinus* L.) flowering, fruit set and pruning pp. 17-16. In: Proceedings of 5th Annual International Tropical Fruit Conference, Hilo Hawaiian.

Thongkaew, S., C. Jatuporn, P. Sukprasert, P. Rueangrit and S. Tongchure. 2021. Factors affecting the durian production of farmers in the eastern region of Thailand. International Journal Agricultural Extension 9(2): 285-293.

Wachowska, U., D. Packa and M. Wiwart. 2017. Microbial inhibition of Fusarium pathogens and biological modification of trichothecenes in cereal grains. Toxins 9(12): 408.

Weber, K. and M. Burow. 2018. Nitrogen–essential macronutrient and signal controlling flowering time. Physiologia Plantarum 162(2): 251-260.

Wu, D., Z. Wei, T.A. Mohamed, G. Zheng, F. Qu, F. Wang, Y. Zhao and C. Song. 2022. Lignocellulose biomass bioconversion during composting: Mechanism of action of lignocellulase, pretreatment methods and future perspectives. Chemosphere 286: 131635.

Zhang, N., N. Nunan, P.R. Hirsch, B. Sun, J. Zhou and Y. Liang. 2021a. Theory of microbial coexistence in promoting soil–plant ecosystem health. Biology and Fertility of Soils 57: 897-911.

Zhang, S., Y. Zhang, K. Li, M. Yan, J. Zhang, M. Yu, S. Tang, L. Wang, H. Qu, L. Luo and W. Xuan. 2021b. Nitrogen mediates flowering time and nitrogen use efficiency via floral regulators in rice. Current Biology 31(4): 671-683.