

# คุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญของพืชของเอนโดไฟติกแบคทีเรีย *Bacillus* sp. DMR-603 ที่แยกจากทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจในจังหวัดจันทบุรี

## Plant Growth-Promoting Properties of Endophytic Bacteria *Bacillus* sp. DMR-603 Isolated from Economic Durian Cultivars in Chanthaburi Province

จิรภัทร จันทมาลี\*<sup>1</sup> และ วิญญู ปักดี<sup>2</sup>

Jirapat Chanthamalee\*<sup>1</sup> and Winyou Puckdee<sup>2</sup>

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี\*<sup>1</sup>

Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University\*<sup>1</sup>

อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี<sup>2</sup>

Lecturer, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi Province<sup>2</sup>

\*Corresponding author, e-mail: jirapat.c@rbru.ac.th

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและศึกษาสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียเอนโดไฟต์จากทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจในจังหวัดจันทบุรี โดยเก็บตัวอย่างจากใบ กิ่ง และรากของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง กระดุม และชะนีจากอำเภอขลุง อำเภอเมือง และอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี คัดแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์ด้วยวิธี Surface Sterilization และทดสอบสมบัติการส่งเสริมการเจริญของพืช ได้แก่ การสร้างเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ การละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต การสร้างไซโตโรฟอร์ และการผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์ ผลการวิจัยพบว่าสามารถแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์ได้ทั้งหมด 11 ไอโซเลท โดยแยกได้จากพันธุ์หมอนทองมากที่สุด (8 ไอโซเลท) และพบมากที่สุดในส่วนราก (5 ไอโซเลท) ไอโซเลท DMR-603 ที่แยกได้จากรากทุเรียนพันธุ์หมอนทองแสดงคุณสมบัติโดดเด่นที่สุด สามารถผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ได้สูง (80.37%) ละลายฟอสเฟตได้ดี (ค่าดัชนีการละลาย 1.51) สร้างไซโตโรฟอร์ได้สูงสุด (1.44 เซนติเมตร) และสามารถผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ เมื่อจำแนกชนิด พบว่า ไอโซเลท DMR-603 จัดอยู่ในสกุล *Bacillus* ซึ่งมีความใกล้เคียงกับ *Bacillus cereus* (96.90%) ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อ *Bacillus* sp. DMR-603 มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญของพืช และควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของทุเรียนในสภาพโรงเรือนและแปลงทดลองต่อไป

**คำสำคัญ:** สมบัติส่งเสริมการเจริญของพืช เอนโดไฟติกแบคทีเรีย ทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ บาซิลลัส

### Abstract

This research aimed to isolate and characterize plant growth-promoting properties of endophytic bacteria from economic durian cultivars in Chanthaburi Province. Endophytic bacteria were isolated from leaves, stems, and roots of three durian cultivars (Monthong, Kradoom, and Chanee) using surface sterilization method. Eleven bacterial isolates were obtained, with the highest number from Monthong cultivar (8 isolates). The isolates were

evaluated for plant growth-promoting properties including exopolysaccharide (EPS) production, phosphate solubilization, siderophore production, and hydrogen cyanide (HCN) production. Among these, isolate DMR-603 demonstrated outstanding capabilities, exhibiting high EPS production (80.37%), efficient phosphate solubilization (solubilization index 1.51), substantial siderophore production (1.44 cm halo zone), and positive HCN production. Morphological, biochemical, and molecular characterization using 16S rDNA sequence analysis identified DMR-603 as *Bacillus* sp., showing 96.90% similarity to *Bacillus cereus*. These findings suggest that *Bacillus* sp. DMR-603 has significant potential for development as a bioinoculant to enhance durian growth and reduce chemical fertilizer dependency in agricultural systems. Further research should focus on field trials to evaluate its effectiveness in promoting durian growth and development under various environmental conditions.

**Keywords:** Plant growth-promoting properties, Endophytic bacteria, Economic durian cultivars, *Bacillus*

## บทนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus* L.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2566 มีพื้นที่ที่ให้ผล 1,054,868 ไร่ ผลผลิตรวม 1.54 ล้านตัน มูลค่าการส่งออกสูงถึง 2.27 แสนล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) การผลิตทุเรียนในปัจจุบัน โดยเฉพาะทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ เช่น หมอนทอง มีความต้องการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในปริมาณมาก เพื่อเร่งการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และป้องกันโรคพืช อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีเกินความจำเป็นก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม เกิดการสะสมของปุ๋ยเคมีในดินและน้ำใต้ดินส่งผลกระทบต่อคุณภาพดิน น้ำ และระบบนิเวศโดยรอบ การเพิ่มต้นทุนการผลิต ความเสี่ยงต่อสุขภาพเนื่องจากการใช้สารเคมีที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดสารตกค้างในผลผลิต ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคและสุขภาพของเกษตรกร รวมถึงปัญหาการเสื่อมคุณภาพของดินจากการใช้ปุ๋ยเคมีในระยะยาวทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ ลดความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและน้ำ (นิตยา ภาคสุภาพ, 2560)

เอนโดไฟต์เป็นจุลินทรีย์ที่พบในเนื้อเยื่อพืช โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์พืช สามารถพบได้ในพืชทุกประเภท เอนโดไฟต์จัดอยู่ในกลุ่มจุลินทรีย์ 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ แบคทีเรีย ฟังไจ และแอคติโนมัยซิท์ ซึ่งสามารถเข้าไปอาศัยอยู่ภายในเซลล์พืชผ่านทางราก และแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เซลล์ใบ ลำต้น และปลายยอดของพืช เอนโดไฟต์มีแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหรือพีจีพีอี (Plant Growth-Promoting Bacterial Endophytes; PGPE) อาจมีประโยชน์มากกว่าแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บริเวณรอบรากพืช เพราะมีโอกาสสัมผัสกับเนื้อเยื่อพืชโดยตรง (Agrawal & Bhatt, 2023) PGPE มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต การผลิตฮอร์โมนพืช การผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ (Exopolysaccharide, EPS) และการควบคุมเชื้อก่อโรค ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีขึ้น (Andrade *et al.*, 2023) ในด้านอนุกรมวิธานแบคทีเรียเอนโดไฟต์จัดอยู่ใน 16 ไฟลัม ประกอบด้วยมากกว่า 200 สกุล โดยส่วนใหญ่จัดอยู่ใน 3 ไฟลัมหลัก ได้แก่ Firmicutes, Actinobacteria และ Proteobacteria เอนโดไฟต์เหล่านี้อาจจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบหรือแกรมบวก เช่น จีน่าส *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Xanthomonas*, *Acinetobacter*, *Microbacterium*, *Bacillus*, *Brevibacterium* (Eid *et al.*, 2021)

การแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์จากเนื้อเยื่อพืช ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ การฆ่าเชื้อที่ผิว เทคนิคการเพาะเลี้ยง และการระบุชนิดของเชื้อที่แยกได้ ตัวอย่างเช่น มีการแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์ได้ 33 ไอโซเลทจากพืชหน่อเค็ม

*Sesuvium portulacastrum* โดยเชื้อบางสายพันธุ์ เช่น *Erwinia* sp. QZ-E9 แสดงการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญ (Cen, Li, Zhang, Huang, & Luo, 2024) แบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่คัดแยกจากพืชสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น การผลิตไซโตไคน์และการสังเคราะห์ IAA (Cen *et al.*, 2024; Abdelmoghies, Elsehrawy, Zakaria, & Fahmy, 2024) นอกจากนี้ยังแสดงคุณสมบัติต้านจุลชีพ จึงเป็นแหล่งที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนายาชนิดใหม่ที่ใช้ต่อต้านเชื้อก่อโรคที่ดื้อยา (Semenzato *et al.*, 2024) สำหรับในประเทศไทย มีรายงานการศึกษาเอนโดไฟต์จากพืชเศรษฐกิจ เช่น คลอโรฟิลล์ บัญญาภิสิทธิ์ และ จวงจันทร จำปาทอง (2565) ได้คัดกรองแบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่มีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เพื่อพัฒนาเป็นสารชีวภัณฑ์สำหรับการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี และพบสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะการละลายฟอสเฟต ผลิต IAA นอกจากนี้ วารุณี หะยิมะสา, จารุ นิคม และ ยาสมี เลาสกุล (2566) รายงานถึงการคัดแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์จำนวน 11 ไอโซเลท จากก้านใบทุเรียนพื้นบ้าน โดยพบว่า *Bacillus altitudinis* YRU S1-1, *Enterobacter cloacae* YRU S1-2 และ *B. stratosphericus* YRU S1-6 สามารถยับยั้งเส้นใยเชื้อรา *Fusarium* sp. สาเหตุของโรคเหี่ยวในพืชหลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การคัดแยกและศึกษาเอนโดไฟต์จากทุเรียนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากอาจนำไปสู่การค้นพบสายพันธุ์ของเอนโดไฟต์จากแบคทีเรียที่มีสมบัติส่งเสริมการเจริญของพืช สามารถเป็นแนวทางในการลดการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในการผลิตทุเรียนได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อคัดแยกและศึกษาสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของแบคทีเรียเอนโดไฟต์จากทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจในจังหวัดจันทบุรี

## วิธีการวิจัย

### 1. การคัดแยกเอนโดไฟต์จากแบคทีเรียจากตัวอย่างทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ

นำตัวอย่างใบ กิ่ง และรากของทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ ได้แก่ หมอนทอง กระดุม และชะนี ที่เก็บจากอำเภอขลุง อำเภอเมือง และอำเภอบางใหม่ จังหวัดจันทบุรี พันธุ์ละ 5 ตัวอย่าง มาคัดแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์ด้วยวิธี Surface Sterilization ล้างตัวอย่างพืชด้วยน้ำประปา 1 ครั้ง และล้างต่อด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตัดตัวอย่างชิ้นส่วนพืชให้ได้ขนาดประมาณ  $1.0 \times 1.0$  ซม. แล้วจึงนำไปใส่ใน 0.1% (v/v) tween 20 เป็นเวลา 1 นาที ตามด้วยแช่ใน 70% (w/v) Alcohol เป็นเวลา 5 นาที และ 3% Sodium Hypochlorite เป็นเวลา 10 นาที ตามลำดับ นำชิ้นส่วนพืชมาผึ่งบนผ้าขาวบางปลอดเชื้อจนแห้ง วางชิ้นส่วนพืชลงบนอาหาร Nutrient Agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของโคโลนีแบคทีเรียบนชิ้นตัวอย่างพืช นำมาแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ และเก็บลงใน 20% (v/v) Glycerol Stock Culture ที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส

### 2. การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของการเป็นเอนโดไฟต์จากแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืช

#### 2.1 การสร้างเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์

ทดสอบความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ของเอนโดไฟต์โดยใช้วิธี Alcian Blue Dye Assay (Obuekwe & Al-Muttawa, 2001) เตรียมสารแขวนลอยเซลล์แบคทีเรียโดยวัดความขุ่นเท่ากับ 10 McFarland (มีปริมาณเซลล์  $3.0 \times 10^9$  cell/ml) จากนั้นเติมหัวเชื้อของแต่ละไอโซเลทลงในอาหารเหลว Mineral Salt (MS) บรรจุทรายทะเลปลอดเชื้อ 2 กรัม บ่มเขย่า 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ทดสอบการสร้าง EPS โดยเติมสีย้อมอัลเซียนบลู (Alcian Blue) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อยเป็นเวลา 5 นาที ตกตะกอนเซลล์ โดยการปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัดค่าการ

ดูคลื่นแสงที่ 606 นาโนเมตร คำนวณเปอร์เซ็นต์การสลาย EPS โดยเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของชุดทดลองเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเชื้อ

## 2.2 การละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต

การทดลองในขั้นนี้ทำตามวิธีดัดแปลงจาก Pikovskaya (1948) โดยนำเชื้ออายุ 24 ชั่วโมง ที่เลี้ยงบนอาหารแข็ง Tryptic Soy Agar (TSA) มาเตรียมสารแขวนลอยเซลล์แบคทีเรียโดยวัดความขุ่นเท่ากับ McFarland เบอร์ 0.5 (มีปริมาณเซลล์  $1.5 \times 10^8$  cell/ml) หลังจากนั้นทดสอบประสิทธิภาพในการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟตด้วยวิธี Disk Diffusion โดยการหยดสารแขวนลอยเซลล์ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นดิสก์มาตรฐาน บนผิวหน้าอาหารแข็ง Pikovskaya (PVK) บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน วัดความกว้างของวงใสที่เกิดขึ้น และคำนวณค่าดัชนีการละลาย (Solubilization Index; SI) ซึ่งดัดแปลงจากการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีมาวัดเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นดิสก์มาตรฐาน คำนวณค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตจากสูตร  $SI = (\text{Disk Diameter} + \text{Clear Zone}) / \text{Disk Diameter}$

## 2.3 การสร้างไซเคอร์โรฟอร์

ทดสอบความสามารถของเอนโดไฟต์ที่แยกได้ในการสร้างไซเคอร์โรฟอร์ในอาหาร Chrome Azurol S (CAS) (Louden, Haarmann, & Lynne, 2011) โดยหยดสารแขวนลอยเซลล์ที่มีความขุ่นเท่ากับ McFarland เบอร์ 0.5 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นดิสก์มาตรฐาน ที่วางบนผิวหน้าอาหารแข็ง CAS บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในที่มืด สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารรอบ ๆ โคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย ผลทดสอบบวกละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีส้ม บันทึกขนาดวงสีเหลืองล้อมรอบโคโลนีที่สามารถสร้างสารไซเคอร์โรฟอร์ได้

## 2.4 การผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์

การทดสอบในขั้นนี้ทำตามวิธีของ (Reetha, Pavani, & Mohan, 2014) โดยฉีดเชื้อแบคทีเรียลงบนผิวหน้าอาหาร TSA ที่เติมไกลซีน 4.4 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นวางกระดาษกรองที่ชุบด้วยสารละลายทดสอบ Picric Acid (2.5 กรัม Picric Acid, 12.5 กรัม  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , น้ำกลั่น 1,000 มิลลิตร) ลงบนฝาจานเพาะเชื้อ ปิดขอบจานเพาะเชื้อให้แน่นด้วยพาราฟิล์ม บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง สังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับชุดควบคุม หากแบคทีเรียมีการสร้างไฮโดรเจนไซยาไนด์กระดาษกรองจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มหรือสีแดง

## 3. การจัดจำแนกชนิดของเอนโดไฟติกแบคทีเรียไอโซเลทที่คัดเลือก

ทำการจัดจำแนกชนิดของเอนโดไฟติกแบคทีเรียไอโซเลทที่มีสมบัติในการส่งเสริมการเจริญของพืชจากผลการทดสอบในข้อ 2 ด้วยวิธีการทดสอบทางชีวเคมี และการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 1. เอนโดไฟติกแบคทีเรียที่แยกได้จากใบ กิ่ง และรากของทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ

การแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์จากส่วนต่าง ๆ ของทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง กระดุม และชะนี โดยวิธีการฆ่าเชื้อที่ผิวและเพาะเลี้ยงบนอาหาร NA สามารถแยกเชื้อได้ทั้งหมด 11 ไอโซเลท (ตารางที่ 1) พันธุ์หมอนทองให้จำนวนไอโซเลทสูงสุด 8 ไอโซเลท (ร้อยละ 72.72) รองลงมา คือ พันธุ์ชะนี 2 ไอโซเลท และพันธุ์กระดุม 1 ไอโซเลท เมื่อพิจารณาตามส่วนของพืช พบว่า สามารถแยกเชื้อได้จากรากมากที่สุด 5 ไอโซเลท (ร้อยละ 45.45) โดยเฉพาะจากรากของพันธุ์หมอนทอง (4 ไอโซเลท) ในขณะที่แยกได้จากลำต้นและใบ จำนวน 4 และ 2 ไอโซเลท ตามลำดับ

การทดสอบประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อที่ผิวโดยนำน้ำล้างครั้งสุดท้ายและชิ้นเนื้อเยื่อที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาทดสอบบนอาหาร NA ไม่พบการเจริญของเชื้อใด ๆ แสดงว่าแบคทีเรียทั้ง 10 ไอโซเลทที่แยกได้เป็นเอนโดไฟต์ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Etminani & Harighi (2018) ที่ใช้วิธีการฆ่าเชื้อที่ผิวในการแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์จากพืชอาศัยในพื้นที่เมือง และพบว่าเชื้อเอนโดไฟต์สามารถพบได้ในทุกส่วนของพืช โดยมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์พืชและสภาพแวดล้อม การพบเชื้อมากที่สุดในส่วนรากสอดคล้องกับงานวิจัย Liu *et al.* (2020) และ Wang *et al.* (2023) PGPE จะเข้าไปอาศัยอยู่ภายใน

เนื้อเยื่อพืชผ่านราก โดยเคลื่อนที่เข้าหาสารอาหารที่รากพืชขับออกมา เช่น ฟลาโวนอยด์ คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และ กรดอะมิโน จำนวนไอโซเลทที่แยกได้ (11 ไอโซเลท) เท่ากับรายงานของ วารุณี หะยิมะสา, จารุ นิคม และ ยาสมี เลาสกุล. (2566) ที่แยกได้จำนวน 11 ไอโซเลท จากก้านใบของต้นทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดยะลา

ตารางที่ 1 เอนโดไฟติกแบคทีเรียที่ถูกคัดแยกจากใบ กิ่ง และรากของทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ โดยวิธี Surface Sterilization

| ทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ | ส่วนต่าง ๆ ของพืช |                               |                                          | รวม (ไอโซเลท) |
|-----------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------------|---------------|
|                       | ใบ                | ลำต้น                         | ราก                                      |               |
| หมอนทอง               | DML-605           | DMS-505<br>DMS-506<br>DMS-607 | DMR-601<br>DMR-603<br>DMR-606<br>DMR-607 | 8             |
| กระดุม                | -                 | -                             | DKD-R108                                 | 1             |
| ชะนี                  | DCL-110           | DCS-109                       | -                                        | 2             |
| รวม (ไอโซเลท)         | 2                 | 4                             | 5                                        | 11            |

## 2. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของการเป็นเอนโดไฟติกแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืช

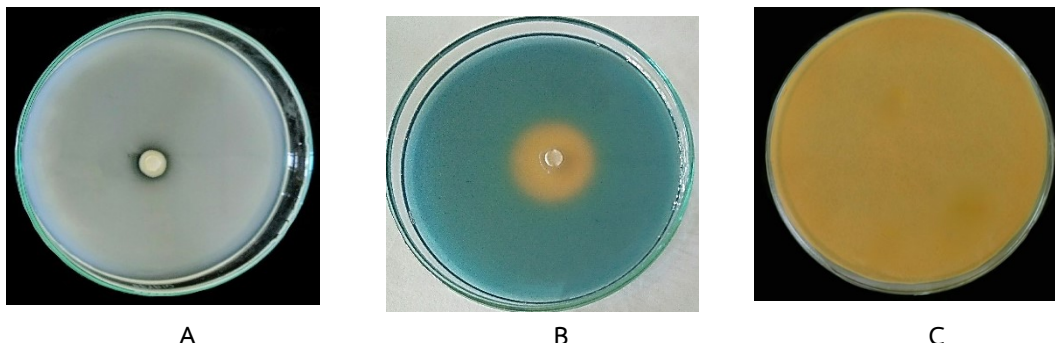
การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญของพืชของเอนโดไฟติกแบคทีเรียที่คัดแยกจากทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ พบว่า เอนโดไฟต์ทั้ง 11 ไอโซเลทมีความสามารถในการ EPS ได้ในช่วง 37.77-84.52 เปอร์เซ็นต์ โดยไอโซเลท DKD-R108 และ DMR-603 ผลิต EPS ได้สูงสุด 84.52 และ 80.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) สำหรับความสามารถในการละลาย พอสเฟต พบ 5 ไอโซเลท (ร้อยละ 45.45) ที่สามารถละลายพอสเฟตได้ โดยไอโซเลท DCL-110 และ DMR-603 แสดงประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าดัชนีการละลายเท่ากับ 1.66 และ 1.51 ตามลำดับ (รูปที่ 1A) การทดสอบการสร้างไซเดอโรฟอร์พบ 9 ไอโซเลท (ร้อยละ 81.81) ที่สามารถสร้างไซเดอโรฟอร์ได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสระหว่าง 0.76-1.44 เซนติเมตร ไอโซเลท DMR-603 แสดงประสิทธิภาพสูงสุดด้วยขนาดวงใสเท่ากับ 1.44 เซนติเมตร (รูปที่ 1B) นอกจากนี้ พบเพียง 2 ไอโซเลท (ร้อยละ 18.18) ที่สามารถผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ ได้แก่ ไอโซเลท DMR-603 (รูปที่ 1C) และ DKD-R108

ตารางที่ 2 สมบัติในการส่งเสริมการเจริญของพืชของเอนโดไฟติกแบคทีเรียที่แยกได้จากทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจ

| เอนโดไฟติกแบคทีเรีย | สมบัติในการส่งเสริมการเจริญของพืช |                      |                                 |              |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|
|                     | EPS (%)                           | Phosphate            | Siderophore                     | การผลิต HCN* |
|                     |                                   | Solubilization Index | ความกว้าง Halo Zone (เซนติเมตร) |              |
| DCL-110             | 60.60 ± 1.89                      | 1.66 ± 0.00          | 1.05 ± 0.30                     | -            |
| DCS-109             | 16.17 ± 2.10                      | 0.00 ± 0.00          | 0.00 ± 0.00                     | -            |
| DKD-R108            | 84.52 ± 4.59                      | 0.00 ± 0.00          | 1.01 ± 0.27                     | +            |
| DML-605             | 78.52 ± 6.06                      | 0.00 ± 0.00          | 0.96 ± 0.05                     | -            |
| DMR-601             | 70.67 ± 1.72                      | 0.00 ± 0.00          | 0.00 ± 0.00                     | -            |
| DMR-603             | 80.37 ± 2.72                      | 1.51 ± 0.03          | 1.44 ± 0.36                     | +            |
| DMR-606             | 73.50 ± 9.70                      | 1.16 ± 0.00          | 0.76 ± 0.05                     | -            |
| DMR-607             | 42.62 ± 2.43                      | 0.00 ± 0.00          | 1.10 ± 0.00                     | -            |

|         |              |             |             |   |
|---------|--------------|-------------|-------------|---|
| DMS-505 | 53.25 ± 9.03 | 1.16 ± 0.00 | 1.06 ± 0.55 | - |
| DMS-506 | 37.77 ± 3.53 | 0.00 ± 0.00 | 0.80 ± 0.00 | - |
| DMS-607 | 42.67 ± 8.17 | 1.50 ± 0.00 | 0.83 ± 0.05 | - |

หมายเหตุ\* เครื่องหมาย - หมายถึงเชื้อไม่สามารถผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้



รูปที่ 1 สมบัติในการส่งเสริมการเจริญของพืชของเอนโดไฟติกแบคทีเรีย ไอโซเลท DMR-603 (A) การละลายฟอสเฟต (B) การสร้างไซโตโรพอร์ (C) การผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์

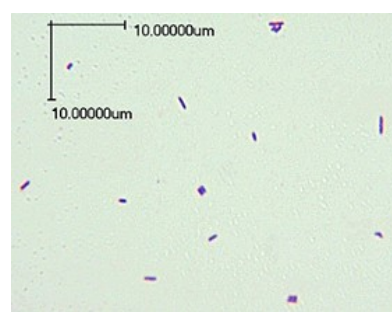
ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเอนโดไฟติกแบคทีเรียไอโซเลท DMR-603 มีศักยภาพสูงในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยแสดงคุณสมบัติสำคัญครบทั้ง 4 ประการ ได้แก่ ความสามารถในการผลิตเอกโซโพลีแซคคาไรด์ การละลายฟอสเฟต การผลิตไซโตโรพอร์ในปริมาณสูง และการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ สอดคล้องกับรายงานต่าง ๆ ที่ระบุว่าแบคทีเรียเอนโดไฟต์มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มความพร้อมใช้ของธาตุอาหารผ่านกลไกต่าง ๆ รวมถึงการผลิตเอกโซโพลีแซคคาไรด์ ไซโตโรพอร์ (Swarnalakshmi, Rajkhowa, Senthilkumar & Dhar, 2019) และการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟตฟอสเฟต (Berza, Sekar, Vaiyapuri, Pagano, & Assefa, 2022) นอกจากนี้แบคทีเรียเหล่านี้ยังผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งช่วยในการป้องกันพืชจากเชื้อก่อโรค ส่วน EPS มีบทบาทสำคัญในการสร้างไบโอฟิล์มและการยึดเกาะกับรากพืช Carezzano, Alvarez Strazzi, Pérez, Bogino, & Giordano (2023) รายงานว่า EPS ที่ผลิตโดยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืชช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับตัวต่อความเครียดทางสิ่งแวดล้อมและชีวภาพของพืช ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีขึ้น คุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งของแบคทีเรียเอนโดไฟต์ คือ ความสามารถในการผลิตสารกลุ่มไซโตโรพอร์ที่มีความสามารถในการจับธาตุเหล็กสูง ช่วยให้พืชดูดซึมธาตุเหล็กได้ดีขึ้น ซึ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ กลไกการได้รับธาตุเหล็กนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในดินที่ขาดธาตุเหล็ก ช่วยเพิ่มความทนทานของพืช (Swarnalakshmi, Rajkhowa, Senthilkumar & Dhar, 2019) การวิเคราะห์เชิงปริมาณแสดงให้เห็นว่าเอนโดไฟต์บางสายพันธุ์สามารถผลิตไซโตโรพอร์ได้ในปริมาณที่สูง โดยบางไอโซเลทสามารถผลิตได้มากกว่า 65 หน่วยไซโตโรพอร์ (Maheshwari, Bhutani & Suneja, 2019) Berza, Sekar, Vaiyapuri, Pagano & Assefa (2022) รายงานว่าแบคทีเรียเอนโดไฟต์มีประสิทธิภาพในการละลาย TCP ซึ่งเป็นรูปแบบหลักของฟอสฟอรัสในดิน ผ่านการผลิตกรดอินทรีย์ ซึ่งทำให้ค่า pH ลดลงและเพิ่มความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัส ตัวอย่างเช่น เชื้อที่แยกได้จาก *Erythrina brucei* แสดงการละลาย TCP ได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในสถานะที่ขาดฟอสฟอรัส อีกกลไกหนึ่งที่สำคัญในการส่งเสริมการเจริญของพืชของเอนโดไฟต์คือการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นสารเมแทบอลิต์ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคบางชนิด (Rana *et al.*, 2020) คุณสมบัติดังกล่าวบ่งชี้ว่าไอโซเลท DMR-603 มีความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญของพืช จึงได้คัดเลือกไอโซเลทนี้สำหรับการศึกษาการจัดจำแนกชนิดในขั้นตอนต่อไป

### 3. การจัดจำแนกชนิดของเอนโดไฟติกแบคทีเรียไอโซเลท DMR-603

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเอนโดไฟติกแบคทีเรียไอโซเลท DMR-603 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่คัดเลือกจากคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญของพืชที่โตเด่นหลายด้าน พบลักษณะโคโลนีที่มีขอบหยัก ผิวหน้าขรุขระ สีขาวขุ่น และทึบแสง (รูปที่ 2A) เมื่อย้อมสีแกรม พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปท่อน และมีการจัดเรียงตัวแบบเชลล์เดี่ยว (รูปที่ 2B) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสายพันธุ์นี้ให้ผลบวกต่อการทดสอบ Catalase, Urease, Citrate, Nitrate Reduction, Methyl Red, Motility และ Starch Hydrolysis รวมทั้งสามารถหมักน้ำตาลซูโครสและเดกซ์โทรสให้เป็นกรดได้ (ตารางที่ 2) การจัดจำแนกชนิดในระดับโมเลกุลดำเนินการโดยการเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA ด้วยเทคนิคพีซีอาร์ โดยใช้ไพรเมอร์ 27F และ 1525R จากนั้นนำผลิตภัณฑ์พีซีอาร์มาตรวจสอบด้วยการทำ Gel Electrophoresis ทำให้ผลิตภัณฑ์พีซีอาร์บริสุทธิ์และวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ เมื่อนำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล Genbank พบว่า ไอโซเลท DMR-603 จัดอยู่ในสกุล *Bacillus* มีลำดับนิวคลีโอไทด์ใกล้เคียงกับเชื้อ *B. cereus* ที่ 96.90% (ตารางที่ 3) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว จึงจัดจำแนกเอนโดไฟติกแบคทีเรียสายพันธุ์นี้เป็น *Bacillus* sp. DMR-603



A



B

รูปที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของไอโซเลท DMR-603 (A) ลักษณะโคโลนี (B) ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า

ตารางที่ 2 ผลทดสอบทางชีวเคมีของเอนโดไฟติกแบคทีเรียไอโซเลท DMR-603

| Biochemical Tests |          |        |         |                   |    |    |        |          |                   |  | Carbohydrate Fermentation |     |     |
|-------------------|----------|--------|---------|-------------------|----|----|--------|----------|-------------------|--|---------------------------|-----|-----|
| Oxidase           | Catalase | Urease | Citrate | Nitrate Reduction | MR | VP | Indole | Motility | Starch Hydrolysis |  | Suc                       | Dex | Lac |
| -                 | +        | +      | +       | +                 | +  | -  | -      | +        | +                 |  | A                         | -   | A   |

\*ผลการทดสอบของแบคทีเรีย : Positive (+) คือ เกิดปฏิกิริยา, Negative (-) คือ ไม่เกิดปฏิกิริยา.

ผลการทดสอบ Carbohydrate Fermentation : A คือแบคทีเรียสร้างกรด, Negative (-) คือ ไม่เกิดการสร้างกรดและแก๊ส,

MR: Methyl Red Test, VP: Voges Proskauer Test, Suc: Sucrose, Dex: Dextrose, Lac: Lactose

ตารางที่ 3 ค่าความคล้ายคลึงของลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA ระหว่างแบคทีเรียเอนโดไฟต์ไอโซเลท DMR-603 กับเชื้อสกุล *Bacillus* ของ Database Genbank

| Isolates | GenBank Accession no. | Database Genbank       | Similarity (%) |
|----------|-----------------------|------------------------|----------------|
| DMR-603  | -                     | <i>Bacillus cereus</i> | 96.90          |

แบคทีเรียเอนโดไฟต์จำนวนมากจัดอยู่ในสกุล *Bacillus* (Muhtari, Sailaja, Shekhawat, Kaura, & Mehta, 2024) ซึ่งพบมากที่หลากหลายในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถผลิตสารประกอบหลายชนิดและมีกลไกการทำงานที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ การผลิตเ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ ไซโตไคน์ การละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต และไฮโดรเจนไซยาไนด์ กิจกรรมเหล่านี้มีส่วนช่วยในการได้รับธาตุอาหาร การยับยั้งเชื้อก่อโรค และส่งเสริมความแข็งแรงโดยรวมของพืช (Abdelmoghies, Elsehrawy, Zakaria & Fahmy, 2024) สอดคล้องกับรายงานของ Das & Das (2024) ที่ระบุว่าแบคทีเรียสกุล *Bacillus* สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนพืชซึ่งกระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช แบคทีเรียช่วยเพิ่มความพร้อมใช้ของธาตุอาหารผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การตรึงไนโตรเจนและการละลายฟอสเฟต รวมถึงช่วยให้พืชทนต่อความเครียดจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้พืชมีความแข็งแรงโดยรวมเพิ่มขึ้น

## สรุป

จากการเก็บตัวอย่างใบ ราก และกิ่งของต้นทุเรียนพันธุ์เศรษฐกิจของจังหวัดจันทบุรี ได้แก่ พันธุ์หมอนทอง กระจุก และชะนี มาคัดแยกเอนโดไฟติกแบคทีเรียด้วยวิธีการฆ่าเชื้อที่ผิว คัดแยกได้ 11 ไอโซเลท โดยพบมากที่สุดในพันธุ์หมอนทอง และพบมากที่สุดในส่วนราก การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นในการส่งเสริมการเจริญของพืชพบว่าไอโซเลท DMR-603 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตเ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ (80.37%) การละลายฟอสเฟต (ค่าดัชนี 1.51) การสร้างไซโตไคน์ (1.44 ซม.) และสามารถผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์ได้ เมื่อจำแนกชนิด พบว่า ไอโซเลท DMR-603 มีความใกล้เคียงกับแบคทีเรีย *Bacillus cereus* (96.90%) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบคทีเรียเอนโดไฟต์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอาจนำไปพัฒนาเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการผลิตทุเรียนแบบยั่งยืนต่อไป

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การผลิตฮอร์โมนพืช IAA การตรึงไนโตรเจน และความสามารถในการควบคุมเชื้อก่อโรคในทุเรียน
2. ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของเชื้อ *Bacillus* sp. DMR-603 ในสภาพโรงเรือนและแปลงทดลอง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนสารเคมี อาหารเลี้ยงเชื้อและวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยจาก งบกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ 2567 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

- ดลฤดี บุญญาภิสิทธิ์ และ จวงจันทร์ จำปาทอง. (2565). การคัดกรองแบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่มีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เพื่อพัฒนาเป็นสารชีวภัณฑ์สำหรับการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- นิตยา ภาคสุภาพ. (2560). การใช้เทคโนโลยีการพัฒนาที่ดินในการปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อพัฒนาเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ ตำบลแหลมงอบ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (เอกสารวิชาการ). นครราชสีมา : กรมพัฒนาที่ดิน.
- วารุณี หะยิมะสา, จารุ นิคม และ ยาสมี เลหาสกุล. (2566). การควบคุมทางชีวภาพของแบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่คัดแยกจากก้านใบทุเรียนพื้นบ้านในการยับยั้งโรคเหี่ยวในพืช. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

- เครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 8 และการประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 1, 21-22 กุมภาพันธ์ 2566 (น. 23-32). ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2566). *กระทรวงเกษตรฯ เห็นชอบผลพยากรณ์ปริมาณการผลิตสินค้าเกษตร ปีเพาะปลูก 2566/67*. ค้นเมื่อ 8 มกราคม 2568, จาก <https://www.oae.go.th/view/1>.
- Abdelmoghies, A., Elsehrawy, M., Zakaria, A., & Fahmy, S. (2024). Isolation of potent endophytic bacteria able to boost plant growth and control pathogens. *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications*, 57(1), 127–137.
- Agrawal, S., & Bhatt, A. (2023). Microbial endophytes: emerging trends and biotechnological applications. *Current Microbiology*, 80(8), 249.
- Andrade, G. V. S., Rodrigues, F. A., Nadal, M. C., da Silva Dambroz, C. M., Martins, A. D., Rodrigues, V. A., ... Dória, J. (2023). Plant-endophytic bacteria interactions associated with root and leaf microbiomes of *Cattleya walkeriana* and their effect on plant growth. *Scientia Horticulturae*, 309, 111656.
- Berza, B., Sekar, J., Vaiyapuri, P., Pagano, M. C., & Assefa, F. (2022). Evaluation of inorganic phosphate solubilizing efficiency and multiple plant growth promoting properties of endophytic bacteria isolated from root nodules *Erythrina brucei*. *BMC Microbiology*, 22(1).
- Carezzano, M. E., Alvarez Strazzi, F. B., Pérez, V., Bogino, P., & Giordano, W. (2023). Exopolysaccharides synthesized by rhizospheric bacteria: a review focused on their roles in protecting plants against stress. *Applied Microbiology*, 3(4), 1249–1261.
- Cen, X., Li, H., Zhang, Y., Huang, L., & Luo, Y. (2024). Isolation and plant growth promotion effect of endophytic siderophore-producing bacteria: a study on halophyte *Sesuvium portulacastrum*. *Plants*, 13(19).
- Das, D., & Das, S. (2024). A study on the potential of endophytic bacteria to promote plant growth: Uses in agriculture and future directions. *Plant Science Today*.
- Etminani, F., & Harighi, B. (2018). Isolation and identification of endophytic bacteria with plant growth promoting activity and biocontrol potential from wild pistachio trees. *The Plant Pathology Journal*, 34(3), 208–217.
- Eid, A. M., Fouda, A., Abdel-Rahman, M. A., Salem, S. S., Elsaied, A., Oelmüller, R., ... Hassan, S. E.-D. (2021). Harnessing bacterial endophytes for promotion of plant growth and biotechnological applications: An Overview. *Plants*, 10(5), 935.
- Liu, T.-H., Zhou, Y., Tao, W.-C., Liu, Y., Zhang, X.-M., & Tian, S.-Z. (2020). Bacterial diversity in roots, stems, and leaves of Chinese medicinal plant *Paris polyphylla* var. *Yunnanensis*. *Polish Journal of Microbiology*, 69(1), 91–97.
- Louden, B. C., Haarmann, D., & Lynne, A. M. (2011). Use of blue agar CAS assay for siderophore detection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12(1), 51–53.
- Maheshwari, R., Bhutani, N., & Suneja, P. (2019). Screening and characterization of siderophore producing endophytic bacteria from *Cicer arietinum* and *Pisum sativum* plants. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 7(5):7-14.

- Muhtari, K., Sailaja, I., Shekhawat, B. K., Kaura, S., & Mehta, S. (2024). Identification of bacterial endophytes isolated from different medicinal plants. *International Journal of Biomedical and Clinical Analysis*, 24–40.
- Obuekwe, C. O., & Al-Muttawa, E. M. (2001). Self-immobilized bacterial cultures with potential for application as ready-to-use seeds for petroleum bioremediation. *Biotechnology Letters*, 23(13), 1025–1032.
- Pikovskaya, R. I. (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiya*, 17, 362–370.
- Rana, K. L., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, N. A., Yadav, N. ... Saxena, A. K. (2020). Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology*, 113(8):1075-1107.
- Reetha, A. K., Pavani, S. L., & Mohan, S. (2014). Hydrogen cyanide production ability by bacterial antagonist and their antibiotics inhibition potential on *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) goid. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 3(5), 172-178.
- Semenzato, G., Bernacchi, A., Amata, S., Bechini, A., Berti, F., Calonico, C., ... Fani, R. (2024). Antibacterial properties of bacterial endophytes isolated from the medicinal plant *Origanum heracleoticum* L. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 29(3), 111.
- Swarnalakshmi, K., Rajkhowa, S., Senthilkumar, M. & Dhar, D. W. (2019). Influence of endophytic bacteria on growth promotion and protection against diseases in associated plants. 263-287.
- Wang, S., Ma, T., Yao, X., Yao, Z., Wang, Z., Dong, Z., ... Huang, L. (2023). Structure of endophytes in the root, stem, and leaf tissues of sweet potato and their response to sweet potato scab disease Caused by *Elsinoë batatas*. *Agronomy*, 13(12), 2965.