



การใช้ *Bacillus* spp. ร่วมกับแมกนีเซียม  
เพื่อควบคุมโรครากขาว (*Rigidoporus microporus*) ของยางพารา  
Utilization of *Bacillus* spp. with Magnesium for Controlling  
White Root Rot Disease (*Rigidoporus microporus*) of Para Rubber

จุฑามาศ สังข์ทอง  
Jutamas Sangthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Soil Resource Management  
Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การใช้ *Bacillus* spp. ร่วมกับแมกนีเซียม  
เพื่อควบคุมโรครากขาว (*Rigidoporus microporus*) ของยางพารา  
Utilization of *Bacillus* spp. with Magnesium for Controlling  
White Root Rot Disease (*Rigidoporus microporus*) of Para Rubber

จุฑามาศ สังกข์ทอง  
Jutamas Sangthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Soil Resource Management  
Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ *Bacillus* spp. ร่วมกับแมกนีเซียม เพื่อควบคุมโรครากขาว

(*Rigidoporus microporus*) ของยางพารา

ผู้เขียน นางสาวจุฑามาศ สังข์ทอง

สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขุมภรณ์ แสงงาม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เถกิง วงศ์ศิริโชติ)

รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล  
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เฟื่องหนู)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....

(นางสาวจุฑามาศ สังข์ทอง)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาวจุฑามาศ สังก์ทอง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้ <i>Bacillus</i> spp. ร่วมกับแมกนีเซียม เพื่อควบคุมโรครากขาว ( <i>Rigidoporus microporus</i> ) ของยางพารา
ผู้เขียน	นางสาวจุฑามาศ สังข์ทอง
สาขาวิชา	การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา	2565

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพบว่าพื้นที่ปลูกยางพาราภาคใต้ในประเทศไทยมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าระดับเหมาะสมที่ความเข้มข้น 0.30 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม แมกนีเซียมที่ไม่เพียงพอส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยางพาราและทำให้อ่อนแอต่อการเกิดโรครากขาวที่เกิดจากเชื้อรา *Rigidoporus microporus* การใช้แบคทีเรีย *Bacillus* spp. เป็นการควบคุมโรคโดยชีววิธีที่มีประสิทธิภาพ จึงได้ศึกษาผลของแมกนีเซียมร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ผลการศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ในอาหาร potato dextrose agar (PDA) ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของซีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจูดอกลิตร แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถเจริญได้ในความเข้มข้นทุกระดับ และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีแมกนีเซียม แต่พบว่าแมกนีเซียมที่ระดับ 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกลิตร ทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยมีลักษณะผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่มีแมกนีเซียม (กรรมวิธีควบคุม) การทดสอบเชื้อปฏิปักษ์จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.1-0.5 เซนติโมลประจูดอกลิตร โดยวิธี dual culture พบว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจูดอกลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 75.29 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเชื้อปฏิปักษ์สายพันธุ์อื่น ๆ เมื่อทดสอบเชื้อปฏิปักษ์ แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจูดอกลิตร โดยวิธี volatile extracellular metabolite test พบว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจูดอกลิตร สามารถสร้างสารระเหยออกมายับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 68.90 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถสร้างสารปฏิปักษ์ที่ทนและไม่ทนความร้อนออกมายับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจูดอกลิตร โดยวิธี agar well diffusion และเช่นเดียวกันกับวิธี poisoned food เซลล์ สารปฏิปักษ์ไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์

SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจูดต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงกว่า 84.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ผิดปกติ บิดเบี้ยว และปลายเส้นใยโป่งพอง เมื่อทดสอบในดินผสมแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจูดต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดี สามารถเจริญได้ 2.24 เซนติเมตรของความสูงดินที่ 10 เซนติเมตร แต่ในส่วนของชิ้นส่วนพืชแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญปกคลุมท่อนยาง และพบการเข้าทำลายเซลล์ท่อนยางในทุกกรณี

การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ส่งผลให้การเจริญของรากยางพาราที่ 14 และ 28 วัน มีการเจริญของรากแก้ว และปริมาณของรากฝอยที่หนาแน่น โดยเฉพาะการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม และยังพบว่าการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

การทดสอบด้วยการปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยการใส่แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของเหนือดินและรากได้ 67.67-70.33 เปอร์เซ็นต์ โดยการใส่แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงเหนือดิน ราก และการสะสมธาตุอาหารในใบยางพารา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้น

การปลูกต้นยางพาราในดินปลูก เมื่อมีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม และการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของเหนือดินและรากได้ 44-95 เปอร์เซ็นต์ โดยการใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงเหนือดิน ราก และการสะสมธาตุอาหารของต้นยางพาราเพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นได้ว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เป็นแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรค รากขาวได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนทดลอง ดังนั้นจึงควรศึกษาและพัฒนาแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ให้อยู่ในรูปแบบชีวภัณฑ์เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Utilization of <i>Bacillus</i> spp. with Magnesium for Controlling White Root Rot Disease ( <i>Rigidoporus microporus</i> ) of Para Rubber.
<b>Author</b>	Jutamas Sangthong
<b>Major Program</b>	Soil Resources Management
<b>Academic Year</b>	2022

### ABSTRACT

Currently, exchangeable magnesium status in rubber (*Hevea brasiliensis*) planting area in the southern of Thailand is mostly below the optimum range at  $0.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Insufficient magnesium affects the growth of rubber trees and makes them sensitive to white root rot disease caused by the fungus *Rigidoporus microporus*. However, using *Bacillus* spp. as a bio-control agent was the effective method. This research aimed to study the effect of magnesium with bacteria *B. subtilis* strain SM1 on *R. microporus* strain NK6 inhibition. The experimental result showed that *B. subtilis* strain SM1 can grow on Potato Dextrose Agar (PDA) supplemented with magnesium in the form of Kieserite added in 4 levels at 0, 0.10, 0.30, and  $0.50 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$ . It was noticed that *B. subtilis* strain SM1 was able to grow in PDA medium with magnesium added in every level while *R. microporus* strain NK6 was also able to grow in PDA medium with magnesium added. However, *R. microporus* fungus in PDA medium with magnesium added at 0.3 and  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$ , it caused abnormal morphological characteristics of the hyphae compared to the control without magnesium supplementation. Testing three strains of antagonistic bacteria, including *B. subtilis* strains SM1 and *B. subtilis* strain LPDD3-2, as well as *B. amyloliquefaciens* strain PT7, in conjunction with the supplementation of magnesium in the growth medium at concentrations ranging from 0.1 to  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$ , using the dual culture method. The experimental results showed that *B. subtilis* strain SM1, when grown on PDA medium with magnesium added at  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$  was able to inhibit the growth of *R. microporus* strain NK6 by 75.29%, which was higher compared to other strains of beneficial bacteria. The volatile extracellular metabolite test revealed that *B. subtilis* strain SM1 with magnesium added at  $0.50 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$ , was able to produce volatile compounds that inhibit the growth of *R. microporus* strain NK6 by 68.90%. This inhibition was higher than that observed at



different concentrations of magnesium. Moreover, *B. subtilis* strain SM1 also forms heat-tolerant and non-heat-tolerant antagonistic substances that inhibited the growth of *R. microporus* strain NK6 by more than 50% when combined with magnesium at a concentration of  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$  using the agar well diffusion method and the poisoned food cell method. Moreover, the non-sterile and sterile antagonist's substance of *B. subtilis* strain SM1, was able to inhibit the growth of *R. microporus* strain NK6 by more than 84.44%. As a result, the hyphae of *R. microporus* strain NK6 appeared abnormal, twisted, and had swollen hyphal tips. When tested in soil, the combination of *B. subtilis* strain SM1 with magnesium at  $0.50 \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$  was found to effectively inhibit the growth of *R. microporus* strain NK6 as well. Antagonistic bacteria was able to grow at 2.24 cm from the soil's height of 10 cm. However, *B. subtilis* strain SM1 with magnesium added in every level could not resist *R. microporus* strain NK6 when directly inoculated to the rubber limb branch. The fungus was able to grow and cover the rubber limb and was found to destroy the rubber rod cells in all treatments.

The use of *B. subtilis* strain SM1 in combination with the application of magnesium at a concentration of  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  has shown an impact on the growth of tap roots and lateral roots of rubber tree at 14 and 28 days after planting. Especially, the treatment of *B. subtilis* strain SM1 with magnesium added at  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , which also reduced the occurrence of white root rot disease caused by *R. microporus* strain NK6 fungus.

The hydroponics experiment result showed that using bio-agent, *B. subtilis* strain SM1 with magnesium added at  $60 \text{ mg L}^{-1}$ , has been found to reduce the occurrence of white root rot disease caused by *R. microporus* strain NK6 fungus in the stem and roots by 67.67–70.33%. Furthermore, The use of *B. subtilis* strain SM1 in combination with the application of magnesium at a concentration of  $60 \text{ mg L}^{-1}$  have resulted in improved growth of rubber trees, including increased plant height, roots development and increased nutrient accumulation in rubber leaves such as nitrogen, phosphorus, and magnesium.

Planting rubber trees in potting soil and application a fertilizer grade 15-15-15 along with using magnesium at a concentration of  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  combined with the use of *B. subtilis* strain SM1 bacteria, can help reduce the occurrence of white root rot

disease caused by *R. microporus* strain NK6 fungus in the above-ground and root parts by 44-95%. The application of  $0.50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  of magnesium, combined with bacteria *B. subtilis* strain SM1 also increased growth of the height above the ground, roots development and nutrient accumulation in rubber trees. It's evident that *B. subtilis* strain SM1 is an effective bacterium in controlling white root rot disease in rubber trees, both in laboratory and experimental greenhouse conditions. Therefore, *B. subtilis* strain SM1 should be studied and developed into a bio-agent for convenient application.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาเสียสละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ ตลอดระยะเวลาดำเนินการวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงเรียบร้อยไปด้วยดี และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพ เกษตร สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการควบคุมโรครากขาวของยางพาราโดยชีววิธีร่วมกับการจัดการดิน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชมาภรณ์ แสงงาม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเป็นเกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา ในการแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวนวัฒนกรรมการเกษตรและการจัดการ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาในด้านต่างๆ และขอบคุณศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีววินทรีย์แห่งชาติ ภาคใต้ และบุคลากรของศูนย์ ที่เอื้ออำนวยความสะดวก ทั้งด้านวัสดุ อุปกรณ์ ตลอดจนสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ความสามารถต่าง ๆ คำแนะนำ และคำปรึกษา จนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ คอยสนับสนุนส่งเสริมทางการศึกษา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่าน และผู้ที่ได้กล่าวถึงหรือผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ด้วยความจริงใจ ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการสนับสนุนในทุกด้านทั้งกำลังกายและกำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฑามาศ สังข์ทอง

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(11)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพ	(14)
รายการตารางผนวก	(17)
รายการภาพผนวก	(18)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	16
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	17
วัสดุ และสารเคมี	17
อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์	18
วิธีการทดลอง	19
บทที่ 3 ผลการทดลอง	31
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง	79
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	91
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	107
ประวัติผู้เขียน	112

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืชตามเขตปลูกยางพารา	5
2	พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของพืช	28
3	พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดิน	30
4	ผลของสารปฏิชีวนะชนิดระเหยได้ของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6	36
5	ผลของสารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6	38
6	ผลของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ในหลอดทดลอง	41
7	ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและ เชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพารา	46
8	ความสูงส่วนเหนือดิน และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืช หลังสิ้นสุดการทดลอง	50
9	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ลำต้น ใบ และรากของต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืช หลังสิ้นสุดการทดลอง	51
10	ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองในสารละลายธาตุอาหารพืช	56
11	การดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองในสารละลายธาตุอาหารพืช	57
12	ประสิทธิภาพแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 เชื้อสาเหตุโรครากขาวของยางพาราในสารละลายธาตุอาหาร	58
13	ผลวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง	59
14	สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน	61
15	สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน	62
16	น้ำหนักสดลำต้น ใบ และรากของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 และ 9 เดือน	66
17	น้ำหนักแห้งลำต้น ใบ และรากของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 และ 9 เดือน	67

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุต้นยางพารา 6 เดือน	74
19	ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุต้นยางพารา 9 เดือน	75
20	การดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุต้นยางพาราอายุ 6 เดือน	76
21	การดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุต้นยางพาราอายุ 9 เดือน	76
22	ประสิทธิภาพแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 เชื้อสาเหตุโรครากขาวของยางพาราที่อายุ 6 และ 9 เดือน	78

## รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วิธี dual culture technique	21
2	วิธี volatile extracellular metabolite test	22
3	วิธี agar well diffusion	23
4	การเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม ที่อายุ 7 วัน (A) กรรมวิธีควบคุมแมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (B) แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (C) แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (D) แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร	31
5	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมที่อายุ 7 วัน ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดาที่กำลังขยาย 100 เท่า (A) กรรมวิธีควบคุมแมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (B) แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (C) แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (D) แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร	32
6	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 โดยแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1, <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 และ <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7	33
7	ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ที่เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1, <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 และ <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 ที่อายุ 7 วัน (A) กรรมวิธีควบคุม <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM (B) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (C) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (D) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (E) กรรมวิธีควบคุม <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 (F) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (G) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (H) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (I) กรรมวิธีควบคุม <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 (J) <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (K) <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (L) <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร	34

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
8	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย <i>Bacillus</i> spp. สายพันธุ์ SM1, LPDD3-2 และ PT7 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดาที่กำลัง ขยาย 100 เท่า (A) กรรมวิธีควบคุม <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 (B) กรรมวิธีควบคุม <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 (C) กรรมวิธีควบคุม <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 (D) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจ่อลิตร (E) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจ่อลิตร (F) <i>B. amyloliquefaciens</i> สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจ่อลิตร	35
9	ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ที่เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม ที่อายุ 7 วัน ด้วยวิธี volatile extracellular metabolite test (A) กรรมวิธีควบคุม <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 (B) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจ่อลิตร (C) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจ่อลิตร (D) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจ่อลิตร (E) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจ่อลิตร	37
10	ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 บนอาหาร PDA เพิ่มแมกนีเซียม ที่อายุ 7 วัน ด้วยวิธี agar well diffusion	38
11	ผลของเซลล์ สารปฏิชีวนะหนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6	40
12	ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ทดสอบโดยเซลล์สารปฏิชีวนะหนึ่งและหนึ่งแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมที่อายุ 7 วัน	40
13	ลักษณะการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับเซลล์ของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ในดินผสมเพิ่มแมกนีเซียม (A) กรรมวิธีควบคุม <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 (B) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจ่อลิตร (C) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจ่อลิตร (D) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจ่อลิตร (E) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจ่อลิตร	42



### รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ลักษณะการเข้าทำลายเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 บนท่อนยางพารา (A) กรรมวิธีควบคุม <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 (B) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (C) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (D) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (E) <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร	43
15	ผลของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพาราอายุ 14 และ 28 วัน	47
16	การเจริญเติบโตของต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง	52
17	ลักษณะของรากยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง	53
18	การเจริญเติบโตของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลอง	68
19	ลักษณะของรากต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลอง	69

### รายการตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	น้ำหนักของท่อนยางพาราก่อนและหลังการทดสอบ	109
2	ปริมาณของแบคทีเรีย <i>Bacillus</i> spp. บนอาหาร PDA เพิ่มแมกนีเซียม	109
3	ผลของแมกนีเซียมร่วมกับแบคทีเรีย <i>Bacillus</i> spp. ต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ด้วยวิธี dual culture technique	109
4	ผลของเซลล์ สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย <i>B. subtilis</i> สายพันธุ์ SM1 ในสภาวะอาหารเพิ่มแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา <i>R. microporus</i> สายพันธุ์ NK6 ด้วยวิธี poisoned food	110

รายการภาพผนวก

ภาพผนวกที่	หน้า
1 ลักษณะของโคโลนีของแบคทีเรีย <i>Bacillus</i> spp. บนอาหาร PDA เพิ่มแมกนีเซียม	111

## บทที่ 1 บทนำ

### 1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกยางพารามากกว่า 24 ล้านไร่ กระจายตัวอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย และมีการปลูกยางพารามากที่สุดทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ปลูกถึง 14.18 ล้านไร่ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ซึ่งที่ผ่านมาเกษตรกรมีการใช้พื้นที่ปลูกยางพาราอย่างต่อเนื่อง และมีการละเลยการใส่ปุ๋ยหรือไม่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง โดยเฉพาะการใส่แมกนีเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของยางพารา จากรายงานวิจัยพบว่า ดินปลูกยางพาราภาคใต้ในประเทศไทยมีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.18 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ต่ำกว่าระดับเหมาะสมและความต้องการของยางพาราที่ต้องการแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556) จากปัจจัยดังกล่าวทำให้ต้นยางพาราขาดแมกนีเซียมส่งผลต่อสุขภาพของต้นยางพาราทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรครากขาว (White root rot disease) สาเหตุจากเชื้อรา *Rigidoporus microporus* เป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ในดิน สามารถเข้าทำลายระบบรากของยางพาราได้ทุกระยะการเจริญเติบโต (Nandris *et al.*, 1987) ซึ่งระดับความรุนแรงของการเกิดโรครุนแรงขึ้นอยู่กับความแข็งแรงตามธรรมชาติของต้นยางพารา พันธุ์ต้านทาน สภาพภูมิอากาศ และการจัดการสวนยางของเกษตรกรที่เป็นปัจจัยในการส่งเสริมหรือจำกัดโรค เช่นเดียวกับต้นข้าวที่ได้รับแมกนีเซียม 0.02 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม พบการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว แต่เมื่อต้นข้าวได้รับแมกนีเซียมเพิ่มเป็น 0.40 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม กลับพบการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคที่ลดลง (Wiler *et al.*, 2015) ต้นข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม พบการเข้าทำลายของเชื้อ *Spiroplasma kunkelii* สาเหตุโรคไวรัสใบด่างแฉะของข้าวโพดในท่อลำเลียงอาหาร (phloem) แต่เมื่อต้นข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มเป็น 0.50 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ไม่พบการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรค (Nome *et al.*, 2009) และยังมีรายงานว่าต้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับแมกนีเซียมต่ำกว่า 0.25 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ganoderma* spp. โรคลำต้นเน่าในปาล์มน้ำมัน (Nur *et al.*, 2016)

ในปัจจุบันการป้องกันกำจัดโรครากขาวของยางพาราสามารถทำได้หลายวิธีทั้งวิธีกล การเขตกรรม และการใช้สารเคมีเป็นวิธีการที่เกษตรกรนิยมใช้เนื่องจากสะดวก และให้ผลในการควบคุมเร็วกว่าวิธีอื่นๆ (สถาบันวิจัยยาง, 2554) แต่การใช้สารเคมีนั้นทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการผลิตสูง อาจก่อปัญหาเนื่องจากสารเคมีที่ตกค้างในดินและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมตามมา อีกหนึ่งทางเลือกในการ

ควบคุมโรคพืชที่มีประสิทธิภาพและไม่ก่ออันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยแบคทีเรีย *Bacillus spp.* ซึ่งมีผลงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวกับการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช เช่น การยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum truncatum* โรคแอนแทรกซ์ของพริก (Gowtham *et al.*, 2018) สามารถยับยั้งเชื้อรา *Rhizoctonia solani* โรคใบไหม้ของถั่วหรั่ง (Pengnoo *et al.*, 2006) และสามารถยับยั้ง *Ralstonia solanacearum* โรคเหี่ยวของมะละกอ (Hossain *et al.*, 2021) โดยแบคทีเรีย *Bacillus spp.* มีกลไกการเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อสาเหตุโรคด้วยการสร้างสารปฏิชีวนะ เช่น iturin, bacillomycin, fengycin, surfactin และ bacilysin, (Rabbee *et al.*, 2019; Khedherab *et al.*, 2021) และเอนไซม์ เช่น  $\beta$ -1,3-glucanase, cellulase, protease และ chitinase (Jongjeen and Aoki, 2010; Singh *et al.*, 2008) ออกมายับยั้งและย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อสาเหตุโรค ทั้งนี้แมกนีเซียมยังเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ chitinase (Jholapara *et al.*, 2013) และ proteases (Nisha & Divakaran, 2014) ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลของแมกนีเซียมและแบคทีเรีย *Bacillus spp.* ต่อการยับยั้งและควบคุมเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 สาเหตุโรครากขาวของยางพาราภายในห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนทดลอง

## 2. การตรวจเอกสาร

### 2.1. ยางพารา

#### 2.1.1 ความสำคัญของยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) เป็นพืชสกุล *Hevea* อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีอายุยืนยาวและเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนที่มีฝนตกชุกในทวีปอเมริกาใต้ พบบริเวณลุ่มน้ำอเมซอนในประเทศบราซิล (Law, 2009; Mead, 2001) ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกยางพาราครั้งแรกในปี พ.ศ. 2442-2444 โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี (คอซิมบี๊ ณ ระนอง) เจ้าเมืองตรังในขณะนั้นได้นำเมล็ดยางพารามาจากรัฐเปร์ริค ประเทศมาเลเซีย มาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง และมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราไปทั่ว 14 จังหวัดภาคใต้ ต่อมาในปี พ.ศ. 2451 หลวงราชไมตรี (ปุม ปุณศรี) ได้นำพันธุ์ยางพารามาปลูกที่จังหวัดจันทบุรี (ภัทรา, 2551) และมีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างต่อเนื่องใน 3 จังหวัดภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ระยอง และตราด ในปัจจุบันพบว่าพื้นที่ปลูกยางพารามีการกระจายตัวอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศไทยมากกว่า 24 ล้านไร่ ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราในลำดับต้นของโลก (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

## 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นยางพารา (เอกชัย, 2537; เรวัต, 2547)

**ราก (root)** ยางพารามีระบบรากเป็น 2 ระบบ ได้แก่ รากแก้ว (tap root system) ความยาวรากแก้วเฉลี่ยตามความลึกของดินประมาณ 1.5-2.5 เมตร โดยทำหน้าที่ยึดเกาะ และช่วยพุงลำต้นไม่ให้โค่นล้ม และรากแขนง (lateral root) เกิดจากการแตกแขนงจากชั้น pericycle ของรากแก้ว มีความยาวประมาณ 7-10 เมตร เจริญอยู่บริเวณทรงพุ่มในระดับผิวดิน โดยทำหน้าที่ยึดลำต้น ดูดน้ำ และธาตุอาหาร เพื่อช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

**ลำต้น (stem)** ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นประเภทเนื้ออ่อน เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 25-30 เมตร กิ่งแผ่จากลำต้นเป็นเส้นทแยงมุม เปลือกนอกมีสีน้ำตาลถึงคล้ำ ใต้เปลือกมีสีชมพูไปจนถึงสีแดงหรือสีม่วงอ่อน เปลือกหนาประมาณ 6.5-15 มิลลิเมตร ต้นอ่อนมีเปลือกบางกว่าต้นแก่ ลำต้นของยางพาราประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เนื้อไม้แข็ง (pith) อยู่ตรงกลางลำต้น, เนื้อไม้ (wood) เป็นชั้นที่อยู่ถัดออกมาสีขาวยอกเหลือง, เนื้อเยื่อเจริญ (cambium) เป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ อยู่รอบเนื้อไม้มีหน้าที่สร้างความเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูงและขนาดลำต้น และเปลือกไม้ (bark) อยู่ด้านนอกสุดของลำต้นมีหน้าที่ป้องกันอันตราย เป็นส่วนสำคัญเพราะมีท่อน้ำยางอยู่ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ เปลือกแข็ง (corky bark) เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของลำต้น มีสีน้ำตาลถึงดำ ไม่มีท่อน้ำยางอยู่ใน โดยมีความหนาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกทั้งหมด เปลือกแข็ง (hard bark) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากเปลือกแข็ง มีสีส้มหรือสีน้ำตาลอ่อน และเปลือกอ่อน (soft bark) เป็นส่วนในสุดของเปลือก ซึ่งติดอยู่กับเนื้อเยื่อเจริญ (cambium) ประกอบไปด้วยเซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell) และซีฟทิวบ์ (sieve tube) ในส่วนนี้มีท่อน้ำยาง ซึ่งท่อน้ำยางจะเวียนขึ้นจากซ้ายไปขวา โดยทำมุม 30-35 องศา กับแนวตั้ง ดังนั้นในการกรีดยางจะต้องกรีดลงจากซ้ายไปขวา จะได้เป็นการตัดผ่านท่อน้ำยางให้ได้จำนวนมากที่สุด เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำยางที่มากที่สุด

**ใบ (leaf)** ยางพาราเป็นใบประกอบ (compound leaf) แบบนิ้วมือ (almate) ใบประกอบหนึ่งชุดของยางพารามี 3 ใบย่อย แต่ละใบจะมีก้านใบย่อยซึ่งมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5-2.5 เซนติเมตร แตกออกตรงส่วนปลายของก้านใบ ณ จุดเดียวกัน ก้านใบของใบยางพาราจะมีความยาวโดยเฉลี่ย 15 เซนติเมตร (2-70 เซนติเมตร) ใบยางพาราจะแตกออกเป็นชั้น ๆ เรียกว่าฉัตร ใบมีความสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เช่น การเปิดปิดปากใบ การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

**ดอก (flowers)** ของยางพาราเกิดเป็นจำนวนมากจากตาตรงบริเวณซอกใบ (axillary bud) โดยมีลักษณะเป็นช่อสั้น ๆ ช่อดอกของยางพาราเป็นแบบช่อแยกแขนง เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ซึ่งในช่อดอกประกอบด้วย ดอกตัวเมีย (pistillated flowers) มีขนาดใหญ่ ตั้งอยู่บริเวณส่วนปลายสุดของ

แขนงช่อดอก และดอกตัวผู้ (staminated flowers) มีขนาดเล็ก ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าของดอกตัวเมียในแขนงเดียวกันของช่อดอก ซึ่งต้นยางพาราออกดอก เมื่อมีอายุประมาณ 5-6 ปี

**ผล (fruit)** ของยางพารามีลักษณะเหมือนผลแอปเปิ้ล แต่มีขนาดเล็กกว่า มีลักษณะเป็นพู่จำนวน 3 พู่ ในแต่ละพู่จะมีเมล็ดอยู่ข้างในผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อผลแก่จะมีผลขนาดใหญ่ แน่น มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร แต่ละพู่จะบรรจุ 1 เมล็ด ผลของยางพาราเกิดจากการผสมเกสรของดอกตัวผู้และตัวเมีย หลังจากเกิดการผสม ในเวลา 3 เดือน รังไข่มีการพัฒนาเป็นผล และ 3 เดือนต่อมาผลเกิดการสุกแก่ โดยผลของยางพาราประกอบด้วย เปลือกผล (epicarp) ผลชั้นกลาง (mesocarp) และผลชั้นใน (endocarp) เมื่อผลสุกแก่เต็มที่ ผลชั้นในจะแตกออกเป็น 6 ส่วน แล้วเมล็ดจะถูกดีดออก โดยสามารถดีดออกไปได้ไกล 4-5 เมตร

**เมล็ด (seed)** ยางพารามีลักษณะคล้ายเมล็ดละหุ่งแต่มีขนาดใหญ่ รูปร่างกลมถึงรี ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เมล็ดแน่น เป็นมัน มีขนาดประมาณ 2-3.5x1.5-3 เซนติเมตร น้ำหนักของเมล็ดยางพาราเฉลี่ยประมาณ 2-4 กรัมต่อเมล็ด โดยเปลือกของเมล็ด (seed coat) เป็นเปลือกแข็ง มีสีน้ำตาลอ่อน-เทา มีจุดน้ำตาลเข้มประปราย บริเวณท้องของเมล็ดยางพาราตรงปลายสุดด้านหนึ่งเป็นขั้วเมล็ด (hilum) และไมโครไพล์ (micropyle) ซึ่งเป็นทางออกของราก เมล็ดยางพาราเมื่อหล่นใหม่จะมีอัตราการงอกสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการงอกจะลดลงและในสภาพปกติเมล็ดยางพาราจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วัน หลังจากเมล็ดร่วงหล่นจากต้นยางพาราสู่พื้นดิน

### 2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

การปลูกยางพาราให้เจริญเติบโตผลผลิตสูงนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น พันธุ์ยาง ลักษณะของดิน สภาพพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ การใช้ปุ๋ย และการจัดการสวนยางพารา โดยแต่ละปัจจัยมีความสำคัญดังนี้

**พันธุ์ยาง** การเลือกใช้พันธุ์ยางที่ดี ต้องเป็นพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตที่ดีให้ผลผลิตสูง มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และต้านทานต่อโรคในพื้นที่ ต้นยางสามารถต้านทานแรงลมได้ดี พันธุ์ยางที่เหมาะสมกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความลึกของหน้าดินและสภาพความลาดชันของพื้นที่ โดยพันธุ์ยางที่แนะนำในพื้นที่ปลูกยางเดิม เช่น พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง ได้แก่ RRIM600 และ RRIT251 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูงและเนื้อไม้สูง ได้แก่ BP235 และ RRIC110 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง ได้แก่ BPM1 และ RRIT402 (สถาบันวิจัยยาง, 2554) พันธุ์ยางพาราที่นิยมปลูกมากที่สุดสำหรับพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออก คือ พันธุ์ RRIM600 และ RRIT251 โดยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากสามารถปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ดีและให้ผลผลิตดีในเกือบทุกสภาพพื้นที่ ซึ่งจะแสดงอาการเปลือกยางแห้งน้อย และทนทานต่อการกรีดถี่ได้มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ แต่มีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรครากขาว (สฤณีรัตน์ และคณะ, 2554)

**ลักษณะของดิน** ดินที่ใช้ในการปลูกยางพาราควรมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความลึกของดิน ยางพาราเป็นพืชยืนต้นมีรากแก้วหยั่งลึกลงไปใต้ดินเพื่อพยุงบ่าต้น จึงต้องการดินที่มีความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร ไม่มีชั้นหินแข็ง ชั้นดินดานและข้อจำกัดอื่นมาขัดขวางการเจริญเติบโตของราก มีการระบายน้ำดี ไม่มีน้ำขัง และระดับน้ำใต้ดินลึกกว่า 1 เมตร ลักษณะโครงสร้างของดินควรเป็นแบบก้อนเหลี่ยม ก้อนเหลี่ยมมุมมน และก้อนกลมทึบ ดินจึงสามารถอุ้มน้ำได้ดี เนื้อดินควรเป็นดินเหนียว ดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย โดยต้องมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อยประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ดินสามารถเก็บความชื้น ดูดซับธาตุอาหารได้ดี และมีอนุภาคดินทรายประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ดินมีการระบายอากาศที่ดี โดยชุดดินที่มีเนื้อดินเหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ได้แก่ ชุดดินอ่าวลิกมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ชุดดินภูเก็ตเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ชุดดินคองสเป็นดินร่วนปนทราย เป็นต้น ส่วนดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารามีเนื้อดินเป็นดินทรายมีอนุภาคของดินทรายประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้น้อยทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และขาดความชื้นในฤดูแล้ง ส่วนสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง โดยทั่วไปยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีค่าพีเอช ระหว่าง 3.8-6.0 แต่ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 4.5-5.5 และมีความต้องการปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูง รวมถึงธาตุอาหารในดิน ควรมีปริมาณธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองระดับที่เหมาะสมและเพียงพอ แต่ไม่มากเกินไปจนเป็นพิษกับพืช สำหรับสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับยางพาราได้สรุปไว้ในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืชตามเขตปลูกยางพารา

สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืช	เขตปลูกยางเดิม	เขตปลูกยางใหม่	ระดับเหมาะสม
ความเป็นกรดเป็นด่าง	4.3-5.5	4.3-6.4	4.5-5.5
อินทรีย์วัตถุ (g kg <sup>-1</sup> )	10.3-28.7	7.9-25.2	10.0-25.0
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.06-0.14	0.04-0.13	0.11-0.25
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg kg <sup>-1</sup> )	12.0-46.0	12.0-45.0	11.0-30.0
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg kg <sup>-1</sup> )	20.0-77.0	20.0-69.0	>40
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.08-1.73	0.24-7.97	>0.30
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.10-0.85	0.21-1.67	>0.30
เหล็กที่สกัดได้ (mg kg <sup>-1</sup> )	17.61-133.6	15.35-125.68	30.0-35.0
แมงกานีสที่สกัดได้ (mg kg <sup>-1</sup> )	2.23-31.91	6.36-44.74	2.0-4.0
สังกะสีที่สกัดได้ (mg kg <sup>-1</sup> )	0.18-2.08	0.15-0.80	0.4-0.6
ทองแดงที่สกัดได้ (mg kg <sup>-1</sup> )	0.08-1.97	0.16-0.55	0.8-1.0

ที่มา : ดัดแปลงจากนุชนารถ (2554)



**สภาพพื้นที่ปลูกยางพารา** การปลูกยางพาราต้องพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ปลูก โดยพิจารณาจากปัจจัยทางดินและปัจจัยทางภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่ควรเกิน 600 เมตร หากเกินจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา เป็นพื้นที่ราบหรือมีความลาดเอียงต่ำกว่า 35 องศา ถ้าความลาดเอียงเกิน 15 องศา ควรทำขั้นบันไดพร้อมกับการปลูกพืชคลุมดิน มีปริมาณและการกระจายตัวของฝนไม่ควรน้อยกว่า 1,250 มิลลิเมตรต่อปี และมีวันฝนตกเฉลี่ย 121 วันต่อปี ในปี พ.ศ. 2547 พื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอตลอดปีแต่การกระจายตัวของฝนไม่ดี เกิดความแห้งแล้งประมาณ 5-6 เดือน อากาศที่ร้อนจัดทำให้น้ำในดินระเหยอย่างรวดเร็ว จนต้นยางพาราขาดน้ำแสดงอาการใบเหี่ยว ร่วง และตายจากยอดลงมา ต้นยางพาราที่ขาดน้ำรุนแรงจะยืนต้นตาย เปลือกแตก น้ำยางไหล เปลือกกร่อน (นุชนารถ, 2548) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกยางพาราควรอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ลดลงทุก 0.5 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยางพาราทำให้ต้นยางพาราเปิดกรีดได้ช้ากว่า 3-6 เดือน ดังนั้นการปลูกยางพาราบนพื้นที่สูงมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา เนื่องจากที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้นทุก ๆ 100 เมตร ทำให้อุณหภูมิลดลง 0.5 องศาเซลเซียส ส่วนแสงที่เพียงพออยู่ระหว่าง 1,800-2,000 ชั่วโมงต่อปี (ปราโมทย์และคณะ, 2527)

ภาคใต้ของประเทศไทยตั้งอยู่บนเส้นรุ้ง (latitude) 5.5 องศา ถึง 11 องศาเหนือ เส้นแวง (longitude) ที่ 97.5 องศา ถึง 102.25 องศาตะวันออก ประกอบด้วย 14 จังหวัด มีพื้นที่ 44 ล้านไร่ มีลักษณะเป็นแหลมยื่นต่อจากภาคกลางลงไปในทะเลเกิดเป็นอ่าวไทย ภาคใต้จัดอยู่ในบริเวณพื้นที่เขตร้อนชื้น มีอากาศอบอุ่นตลอดปี อยู่ในแนวมรสุมที่รับทั้งลมฝน (ลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ระหว่างเดือนเมษายนถึงตุลาคม) และลมหนาวเจือฝนผสมแล้ง (ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนมีนาคม) รวมทั้งมีพายุไซร่อนจากทะเลจีนใต้พัดเข้ามาอยู่เป็น ครั้งคราว ลมมรสุมทั้ง 3 ที่พัดผ่านจะพาเอาไอน้ำและความชื้นจากมหาสมุทรหรือทะเลเข้าสู่แผ่นดิน จึงทำให้ภาคใต้มีฝนตกชุกตลอดทั้งปีส่งผลให้กระบวนการกร่อนและกระบวนการชะละลายมีสูง ทำให้ดินมีพัฒนาการสูง จัดอยู่ในอันดับอัลทิสอลล์ ดินส่วนใหญ่มีสภาพเป็นกรด มีอินทรีย์วัตถุ แคตไอออนสภาพเบส และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (เอิบ, 2533) จากการศึกษาระดับความเหมาะสมของดินปลูกยางพาราภาคใต้ ช่วงระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร พบว่าดินส่วนใหญ่เป็นดินกรด มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.1-5.5 อินทรีย์วัตถุ 15-35 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 60-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นวลศรี และคณะ, 2543) โดยใกล้เคียงกับค่าสมบัติทางเคมีของดินบน (0-30 เซนติเมตร) ของดินปลูกยางพาราในภาคใต้พบว่า ดินร่อยละ 81 มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4.5 แต่ดินส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับ 15-25 กรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจน 0.47-0.49 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 0.5-74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 7-81 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.05-4.22 และ 0.03-0.87 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556)

**การใส่ปุ๋ยในสวนยางพารา** ในการทำสวนยางพาราต้องมีการใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นยางพารา ช่วยให้ต้นยางเจริญเติบโตเร็ว ลดระยะเวลาก่อนเปิดกรีตและชดเชยปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับน้ำยางพารา มีรายงานว่าปริมาณธาตุอาหารที่ต้นยางพาราต้องการใช้ในแต่ละปีเพื่อสร้างต้นและผลผลิตเฉลี่ยในช่วงอายุ 8-25 ปี ได้แก่ ธาตุอาหารไนโตรเจน 142 กรัมต่อต้นต่อปี ฟอสฟอรัส 16 กรัมต่อต้นต่อปี โพแทสเซียม 95 กรัมต่อต้นต่อปี แคลเซียม 120 กรัมต่อต้นต่อปี และแมกนีเซียม 28 กรัมต่อต้นต่อปี (สุนทรี่ และจินตนา, 2549) จากรายงานการสำรวจสวนยางพาราของ ภรภัทร (2563) พบว่า ในปี 2552-2562 เกษตรกรส่วนใหญ่ละเลยการใส่ปุ๋ยให้กับต้นยางพารา ทำให้ธาตุอาหารที่ต้นยางพาราได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการ ในที่สุดปริมาณธาตุอาหารในดินก็ลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดมีไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา ส่งผลให้ต้นยางพาราขาดธาตุอาหาร ไม่แข็งแรง อ่อนแอต่อโรค และส่งผลกระทบต่อผลผลิตทำให้ผลผลิตลดลงจนกระทั่งไม่สามารถเก็บผลผลิต

จากการศึกษาของ Dissanayake และ Mithrasena (1986) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ขนาดเส้นรอบวงลำต้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้นในระยะต้นยางพาราก่อนเปิดกรีตทำให้มีการสะสมธาตุอาหารในใบสูง ต้นยางพาราเจริญเติบโตดีสามารถเปิดกรีตได้เร็วขึ้น (สิทธิชัย, 2556) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lalani (2000) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต โพแทช และแมกนีเซียม ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 22 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น สถาบันวิจัยยางจึงได้แนะนำสูตรปุ๋ยสำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีตในเขตปลูกยางพาราเดิม ดินร่วนเหนียว-ดินร่วนทราย คือ ปุ๋ยสูตร 20-8-20 สำหรับเขตปลูกยางเดิม สูตร 20-10-12 สำหรับเขตปลูกยางใหม่ดินร่วนเหนียว และสูตร 20-10-17 สำหรับเขตปลูกยางใหม่ดินร่วนทราย (สถาบันวิจัยยาง, 2541) โดยในปีที่ 1 และ 2 แนะนำให้แบ่งใน 3 ครั้ง และในปีที่ 3-6 แบ่งใส่ 2 ครั้ง ส่วนในสวนยางพาราหลังเปิดกรีตสถาบันวิจัยยางแนะนำปุ๋ยสูตร 30-5-18 หรือสูตรใกล้เคียง คือ 29-5-18 ใช้ได้กับดินทุกชนิดทั้งในแหล่งปลูกยางเดิมและแหล่งปลูกยางใหม่ นอกจากนี้ มีรายงานการสำรวจพฤติกรรมการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรชาวสวนยางพาราในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช พบว่ามีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในยางพาราก่อนเปิดและหลังเปิดกรีต (สายใจ และคณะ, 2553) เช่นเดียวกันกับเกษตรกรในจังหวัดสงขลา (หทัยกานต์ และคณะ, 2556) และจังหวัดตรัง (วารณธิดา, 2556)

## 2.2. แมกนีเซียม

### 2.2.1 แมกนีเซียมในดิน

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกประมาณ 1.93 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของหินและแร่มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ แร่ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ออไรต์ ไบโอไทต์ เซอร์เพนทีน แมกนีไซต์ และโดโลไมต์ แมกนีเซียมยังเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวบางชนิด โดยเฉพาะเวอร์มิคิวไลต์ซึ่งมีแมกนีเซียมอยู่สูงก็จะเป็นแหล่งของแมกนีเซียมในดิน เมื่อหินและแร่ผุพังสลายตัวจะปลดปล่อยธาตุแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมา แมกนีเซียมทั้งหมดในดินแบ่งได้เป็น 3 รูป ประกอบด้วย 1) แมกนีเซียมไอออนในสารละลายดิน 2) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) ซึ่งดูดซับอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน พืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้เป็นประโยชน์ได้ง่าย และ 3) เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่าง ๆ ในดิน โดยทั่วไปแล้วดินที่มีแมกนีเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์มีอยู่น้อยและสูญเสียได้ง่าย โดยเฉพาะในดินที่มีค่าพีเอชต่ำ (ยงยุทธ, 2558)

ดินโดยทั่วไปมีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 0.1 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในสารละลายดินประมาณ 5-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในดินปลูกยางพาราภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ร้อยละ 88 และร้อยละ 64 ตามลำดับ มีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าระดับเหมาะสม (0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) (นุชนารถ และคณะ, 2556) ดินปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลามีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.03-0.09 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัมทั้งในพื้นที่ลุ่มและที่ดอน โดยต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (ภัทรานิชรุ้ และคณะ, 2560) เนื่องจากภาคใต้ปลูกยางพาราติดต่อกันเป็นเวลานานและขาดการจัดการธาตุอาหารอย่างเหมาะสม โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง คือ ยางพาราก่อนกรีตใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-8-20, 20-10-12 และ 20-10-17 ยางพาราหลังเปิดกรีตใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 30-5-18 และ 29-5-18 สังเกตได้ว่าปุ๋ยที่ใช้จะประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการใส่แมกนีเซียม ทั้งที่ในกระบวนการสร้างผลผลิตน้ำยางสูญเสียแมกนีเซียมในปริมาณมาก (นุชนารถ, 2554: สุนทรื และจินตนา, 2549)

### 2.2.2 บทบาทของแมกนีเซียมต่อพืช

พืชดูดแมกนีเซียมในรูปของไอออน ( $Mg^{2+}$ ) โดยปกติพืชดูดได้น้อยกว่าแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) และโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) โดยแมกนีเซียมไอออนเข้าสู่รากจะใช้ช่องผ่านจำเพาะหรืออาจใช้พาหะในการขนส่ง โดยทั่วไปพืชสะสมแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง แมกนีเซียมในพืชแบ่งการทำงานที่เป็นสองส่วน พบว่าประมาณร้อยละ 15-30 ของแมกนีเซียม อยู่ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง และอีกร้อยละ 70-85 ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน กิจกรรมถ่ายโอน

พลังงาน รวมทั้งเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ในกระบวนการสร้าง ATP ในเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และยังเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์อื่น ๆ อีกหลายชนิด (ยงยุทธ, 2558)

สำหรับยางพาราแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญมีผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิต การใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุก่อกิโกรัม ในดินปลูกยางพาราที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (0.30 เซนติโมลประจุก่อกิโกรัม) ทำให้ต้นยางพาราเล็กเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ธนพันธ์, 2560) นอกจากนี้แมกนีเซียมมีกลไกควบคุมการสังเคราะห์น้ำยางและน้ำหนักมวลโมเลกุลของยาง โดยแมกนีเซียมจะเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ rubber transferase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์น้ำยาง (Costa *et al.*, 2006) ดังนั้นเมื่อต้นยางพารามีการขาดแมกนีเซียม จะแสดงอาการที่ขอบใบและพื้นที่ระหว่างเส้นใบมีสีเหลือง แต่เส้นใบยังคงเขียว อาการขาดเริ่มแรกจะเป็นจุดประสีเขียวยาวระหว่างเส้นใบ (lateral vein) อาการขาดที่รุนแรงใบจะเป็นสีเหลืองระหว่างเส้นใบ และขอบใบเป็นสีน้ำตาล ใบร่วง และทำให้การเจริญเติบโตลดลงและใบมีขนาดเล็ก ในต้นยางพาราที่ยังไม่แตกกิ่ง มักพบที่ใบแก่หรือใบของฉัตรล่าง ส่วนยางพาราที่เปิดกรีดแล้วมักพบอาการในใบที่สัมผัสกับแสงแดด (สถาบันวิจัยยาง, 2556)

### 2.2.3 อันตรกิริยาระหว่างแมกนีเซียมกับโพแทสเซียมและแคลเซียม

แมกนีเซียมกับโพแทสเซียมและแคลเซียม ในแง่ของการดูดและเคลื่อนย้ายภายในพืช โดยอันตรกิริยาระหว่างแมกนีเซียมกับโพแทสเซียมและแคลเซียมมีผลเชิงลบต่อกัน เมื่อเพิ่มอัตราธาตุใดธาตุหนึ่งจะส่งผลให้มีการสะสมอีกธาตุในส่วนเหนือดินลดลง การทดลองเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยโพแทชในอัตราต่าง ๆ ในดินปลูกยางพารา เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมสูงขึ้น ยางพาราดูดใช้โพแทสเซียมได้ลดลง (นุชนารถ และคณะ, 2537) สอดคล้องกับการทดลองในต้นยางเล็กที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรา 2 เซนติโมลประจุก่อกิโกรัม ทำให้การสะสมของโพแทสเซียมและแคลเซียมในใบยางพาราลดลง โดยความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมในใบคือ 3.29 และ 13.15 กรัมต่อกิโกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีระดับต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมในใบยางพารา (โพแทสเซียมและแคลเซียม 6-10 และ 13.6-16.5 กรัมต่อกิโกรัม) (ธนพันธ์, 2560) ดินปลูกยางพาราก่อนเปิดกรีดควรมีสัดส่วนแมกนีเซียมและโพแทสเซียมที่เหมาะสม 3-4.2 สัดส่วนของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่เหมาะสม 0.2-0.6 (สายใจ, 2554)

### 2.2.4 แมกนีเซียมกับการเกิดโรค

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชและจุลินทรีย์ในการดำเนินกิจกรรมเพื่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตของพืช และยังมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของพืช เมื่อพืชมีการสะสมแมกนีเซียมในเซลล์เพิ่มขึ้นจะช่วยทำให้พืชสร้างกลไกในการต้านทานโรค (Don and Jeff, 2012) โดย

แมกนีเซียมเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) (Hawkesford *et al.*, 2012 อ้างโดย Samuel *et al.*, 2015 ) ต้นข้าวโพดที่ใส่แมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม พบการเข้าทำลายของเชื้อ *Spiroplasma kunkelii* สาเหตุโรคไวรัสใบต่างแคะของข้าวโพดในท่อลำเลียงอาหาร (phloem) แต่ในต้นข้าวโพดที่ใส่แมกนีเซียม 0.50 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ไม่พบการเข้าทำลายของ *S. kunkelii* ในเซลล์พืช (Nome *et al.*, 2009) ขณะที่ต้นข้าวได้รับแมกนีเซียม 0.02 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม พบการเข้าทำลายของ *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว แต่เมื่อต้นข้าวได้รับแมกนีเซียม 0.40 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม กลับพบการเข้าทำลายของเชื้อที่ลดลง (Wiler *et al.*, 2015) เช่นเดียวกับปาล์มน้ำมันที่ได้รับแมกนีเซียมต่ำกว่า 0.25 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของ *Ganoderma* spp. โรคลำต้นเน่าในปาล์มน้ำมัน (Nur *et al.*, 2016)

### 2.2.5 แมกนีเซียมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์

แมกนีเซียมเป็นแหล่งเกลือแร่ ซึ่งเป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับแหล่งคาร์บอน (carbon sources) และไนโตรเจน (nitrogen sources) แต่ก็ขาดไม่ได้ เพราะเกลือแร่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี เป็นองค์ประกอบของเซลล์ และเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งเป็นตัวกระตุ้นที่จำเป็นต่อเอนไซม์ โดยเอนไซม์เหล่านี้สำคัญต่อการใช้พลังงานในรูป ATP ในกระบวนการใช้พลังงานที่สำคัญ เช่น การเคลื่อนย้ายสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์, การสังเคราะห์โปรตีน และกรดนิวคลีอิก (Harvey *et al.*, 1974) โดยพบว่า *Bacillus subtilis* มีการเจริญเติบโตได้ดีในอาหาร Tryptose Blood Agar Base (TBAB) ที่มีการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ 25 มิลลิโมล (Catherine *et al.*, 2014) นอกจากนี้การเติมแมกนีเซียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมคลอไรด์ 1 กรัมต่อลิตร ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดัดแปลงจากสูตรของ Yamaguchi ทำให้ *Bacillus cirula* MT-G2 สามารถผลิตเอนไซม์เดกซ์แทรนเนสเพิ่มขึ้น (สุเทพ, 2533) ซึ่งแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารสมบูรณ์ (Complete Medium) ที่ใช้เลี้ยงเส้นใยเชื้อราเห็ดฟาง (วสันต์, 2536) และ *Aspergillus niger*, *Candida albicans* and *Cryptococcus neoformans* สามารถเจริญได้ดีในอาหาร Sabourauds Dextrose Agar (SDA) ที่เติมแมกนีเซียมซัลเฟต 40 ppm (Najwa, 2013) โดยพบว่าแมกนีเซียมซัลเฟต 720 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารละลายธาตุอาหารพืชช่วยส่งเสริมการเข้าครอบครองรากของ Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal ในข้าวโพดได้ดีที่สุด (Gryndler *et al.*, 1991)

## 2.3. โรครากขาวในยางพารา

### 2.3.1 ลักษณะอาการของโรครากขาว

โรครากขาวของยางพาราเกิดจากเชื้อ *Rigidoporus microporus* (Sw.) Overeem พบครั้งแรกในประเทศสิงคโปร์ ปี พ.ศ. 2447 โดยริดเลย์ (H.N. Ridley) (Hood, 2006) เป็นราชันสูง เส้นใย

ของเชื้อราที่มีสีขาว มีผนังกันแบบ simple septate และไม่มี clamp connection มีขนาดกว้าง 1.5-6 ไมโครเมตร มีลักษณะแตกแขนงจับตัวกัน โดยสร้างสปอร์แบบ basidiospore ซึ่งเข้าทำลายต้นยางพารา โดยการสร้างเส้นใยสีขาว ความหนา 1-2 มิลลิเมตร เกาะติดแน่นและปกคลุมบริเวณรากของยางพารา ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณรากเกิดความเสียหาย ส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดน้ำ และธาตุอาหารของยางพารา ซึ่งน้ำและธาตุอาหารเป็นปัจจัยสำคัญ ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อระบบรากของต้นยางพาราถูกทำลายไม่สามารถดูดน้ำ และธาตุอาหาร ทำให้ขาดปัจจัยในกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้ต้นยางพารามีใบขนาดเล็กลง ทรงพุ่มมีขนาดเล็ก ใบมีสีเหลืองบางส่วนหรือใบเหลืองทั้งต้น และยืนต้นตายในที่สุด เมื่อสังเกตบริเวณรากมีเส้นใยสีขาวเจริญปกคลุมจับตัวกันแน่น (rhizomorph) จึงมีชื่อเรียกโรครากขาวตามสีของเชื้อสาเหตุ เนื้อไม้ที่เป็นโรคมีสีครีม ยู่และเบา (สถาบันวิจัยยาง, 2554) ในขณะการเข้าทำลายของเชื้อราโรครากขาวใน ต้นยางพาราเล็กจะทำให้ใบเหี่ยวเฉา ขอบใบม้วนงอลง ร่วงลงมาก่อนที่จะยืนต้นตายภายใน 6 สัปดาห์ ส่งผลทำให้เปลือกลำต้นบริเวณโคนต้นมีลักษณะแห้งและแตกออกมามี (ภูวดล, 2549) เมื่อพืชแสดงอาการเกิดโรคสักกระยะหรือหลังพืชตายมักพบดอกเห็ดสีส้มที่โคนต้นหรือส่วนรากที่โผล่พ้นดิน ดอกเห็ดมีลักษณะเป็นแผ่นครึ่งวงกลม แบนและกว้าง ไม่มีก้าน ขึ้นซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ขนาดของดอกเห็ดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ดอกเห็ดอ่อนมีผิวหนังด้านบนมีสีส้มหรือแดง ขอบมีสีขาว ผิวสัมผัสลื่น เมื่อดอกแก่จะแข็งกระด้างมีสีน้ำตาลหรือสีเหลืองสลับกัน ด้านล่างมีรูขนาดเล็กไว้สำหรับผลิตสปอร์ กระจายทั่วแผ่นดอกยกเว้นบริเวณขอบดอกเห็ด (Hood, 2006) ซึ่งเมื่อสปอร์ปลิวไปตกในที่ที่เหมาะสมก็เจริญเป็นเส้นใยและสร้างดอกเห็ดใหม่ได้

### 2.3.2 การแพร่ระบาดและการเข้าทำลายของโรครากขาว

เชื้อราสาเหตุโรครากขาวสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงฤดูฝนหรือในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง ปัจจุบันพบว่าโรครากขาวสามารถแพร่ระบาดได้เกือบทุกฤดู เนื่องจากมีแหล่งเชื้ออยู่ในดินจำนวนมาก สามารถแพร่กระจายได้ 2 ทางคือ ทางระบบรากเป็นการสัมผัสกันระหว่างรากที่เป็นโรคกับรากจากต้นปกติ การทำสวนยางพารานิยมปลูกต้นยางพาราระยะระหว่างต้น 2.5-3 เมตร และระยะระหว่างแถว 8 เมตร เมื่อต้นหนึ่งเป็นโรคจึงสามารถแพร่จากรากถึงรากได้โดยง่าย ทำให้เกิดโรคต่อเนื่องจากต้นหนึ่งไปยังอีกต้นหนึ่งเป็นแถว (Nandris *et al.*, 1987) และโดยสปอร์ของเชื้อราจากรากเห็ดปลิวไปตามลม ติดไปกับร่องเท้า หรือลอยไปตามน้ำ เข้าทำลายต้นยางพาราเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม (อารมณ, 2541) Nicole และ Benhamou (1991) พบว่าต้นยางพาราอายุน้อยสามารถชักนำให้เกิดโรคได้ง่ายกว่าต้นยางพาราอายุมาก กระบวนการหรือกลไกการเข้าทำลายของ *R. microporus* สรุปได้ 3 ขั้นตอน 1) ไโรโซมอฟของเชื้อราเจริญปกคลุมบริเวณผิวรากภายนอก (ectotrophic growth habit) 2) เมื่อไม่มีอาหารจากภายนอกเชื้อราจะเข้าสู่รากทำลายเซลล์รากพืชโดยโรโซมอฟเปลี่ยนรูปร่างของเส้นใยให้มีผนังเซลล์ที่บางขึ้น เพื่อเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช (infectious

hyphae) ทางรูเปิดธรรมชาติ เช่น รอยแตกของผิวที่ลำต้น (lenticels) ทางบาดแผลหรือโดยการสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยเซลล์ผิวรากของต้นพืช และกระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาพดินที่ขาดออกซิเจน ทำให้ลักษณะโครงสร้างของพืชเปลี่ยนไปโดยปลดปล่อย extracellular enzymes เข้าย่อยสลายเนื้อไม้ (Nandris *et al.*, 1987) 3) เส้นใยเจริญอยู่ภายในเซลล์พืชโดยการย่อยผนังเซลล์ของระบบท่อน้ำ ท่ออาหาร และแพร่กระจายสู่เซลล์อื่น โดยการแทงผ่านทางช่องว่างและท่อต่าง ๆ ของเซลล์ จึงสามารถพบเส้นใยเชื้อราได้ทั้งระหว่างเซลล์ ในเซลล์และในผนังเซลล์ พบว่าการที่เชื้อเจริญอยู่ภายในท่ออาหารทำให้น้ำยางตกตะกอนจับตัวกันเป็นก้อนส่งผลให้ปริมาณน้ำยางในต้นยางพาราลดลง การเข้าทำลายเนื้อไม้พบว่าโครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย ในส่วนของ middle lamella และผนังเซลล์ถูกย่อยสลาย เกิดจากเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายโครงสร้างพืชได้ โดยสามารถตรวจพบได้ในเนื้อเยื่อที่ถูกทำลาย เชื้อราอาจผลิตเอนไซม์ชนิดเดียวหรือทั้งสามชนิด คือ glycosidase ( $\beta$ -lucosidase,  $\alpha$ -galactosidase และ  $\beta$ -galactosidase), polysaccharidases (xylanase, pectinase, CM-cellulase) และ phenol oxidase (laccase และ peroxidase) ในเนื้อเยื่อพืชที่มีการเข้าทำลายของ *R. microporus* จะพบเอนไซม์ laccase ในปริมาณมาก (Geiger *et al.*, 1986)

### 2.3.3 การป้องกันกำจัดโรครากขาว

การป้องกันกำจัดโรครากขาว สถาบันวิจัยยาง (2554) แนะนำให้ใช้กำมะถันรองกันหลุมสำหรับยางปลูกใหม่ในแหล่งที่เคยพบการระบาดของโรครากขาว หากพบต้นที่เป็นโรคให้ขุดรากเผาทำลายหรืออาจขุดล้อมบริเวณต้นที่เป็นโรคเพื่อป้องกันการระบาดไปยังต้นอื่นในแถวเดียวกัน จะเห็นได้ว่าการป้องกันกำจัดโรครากขาวค่อนข้างจะยุ่งยากลำบาก จึงทำให้เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีในการป้องกันโรค เนื่องจากสะดวก สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมโรค ได้แก่ cyproconazole, feniconil, hexaconazole, propiconazole และ tridemorph ซึ่งอาจจะได้ผลในระยะแรกที่พืชเริ่มติดเชื้อ เมื่อใช้ปริมาณมากก็เป็นสาเหตุให้เชื้อสาเหตุโรคเกิดความต้านทานต่อสารเคมี และมีการตกค้างของสารพิษซึ่งเป็นผลเสียต่อเกษตรกรรวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบนิเวศ ดังนั้นการควบคุมโรคพืชโดยใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์จึงเป็นอีกหนทางเลือกที่ช่วยลดการใช้สารเคมี

การควบคุมโรคพืชโดยใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ซึ่งจุลินทรีย์ปฏิปักษ์อาจเป็นทั้งเชื้อราหรือแบคทีเรีย รวมถึงการใช้สารที่จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ผลิตขึ้นในการทำลายหรือยับยั้งเชื้อสาเหตุโรค โดยการป้องกันกำจัดโรครากขาวของยางพาราได้มีการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง เช่น *Trichoderma* spp. สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* ในห้องปฏิบัติการได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (นพวรรณ และนริสา, 2558; สายทอง, 2556) และในสภาพเรือนทดลองได้ 55 เปอร์เซ็นต์ (สายทอง, 2556) ขณะที่ *Streptomyces* sp. สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* ในห้องปฏิบัติการได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลายเส้นใยมีลักษณะที่ผิดปกติ ลีบ บิดเบี้ยว และผิดปกติ และในสภาพเรือน

ทดลองได้ 60 เปอร์เซ็นต์ (Nakaew *et al.*, 2015; Chaiharn *et al.*, 2019) นอกจากนี้ยังพบกลุ่มจุลินทรีย์อื่น เช่น *Pseudomonas* sp. สายพันธุ์ SPSBS1-4 สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* ในห้องปฏิบัติการได้ 85.65 เปอร์เซ็นต์ และบนชิ้นส่วนต้นยางพาราสามารถยับยั้งได้ 91.63 เปอร์เซ็นต์ (Maiden *et al.*, 2016)

## 2.4 แบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis*

### 2.4.1 ลักษณะทั่วไปและความสำคัญของ *Bacillus subtilis*

*Bacillus subtilis* พบได้ทั่วไปในธรรมชาติเช่น น้ำ ดิน อากาศ ฝุ่นละออง พืชหรือแม้แต่ในอาหาร (Claus and Berkeley, 1986) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อนทรงกระบอก (rod shaped) มีขนาด 0.5-2.5x1.2-10 หรือ 0.3-2.2x0.7-1.2 ไมโครเมตร (ดวงพร, 2537) เคลื่อนที่ได้ด้วย แฟลกเจลลา สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ใช้เวลาในการเจริญเติบโต 24-48 ชั่วโมง ลักษณะโคโลนีที่เลี้ยงอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นอาหารแข็งสร้างโคโลนีผิวด้าน (dull) หรือผิวเชลล์ย่น (wrinkled) เป็นสีครีมหรือน้ำตาลอ่อน มีความทนต่ออุณหภูมิช่วงกว้างตั้งแต่ -5-80 องศาเซลเซียส (El-Hassan and Gowen, 2006) เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวทำให้อาหารมีสีคล้ำขึ้น มีการสร้างเอนโดสปอร์ (endospore) เมื่อมีอายุมากขึ้น การสร้างเอนโดสปอร์ทำให้ *B. subtilis* สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ในสภาพที่เป็นกรดหรือด่างจัด ทนความร้อน ทนทานต่อสารเคมี รังสียูวี ความแห้งแล้ง และตัวทำลายอินทรีย์ (Klopper *et al.*, 2004; Obagwu and Korsten, 2003) นอกจากนี้ *B. subtilis* ยังสร้างสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด เช่น bacillomycin, iturin, mycosubtilin, subtilin, fengymycin, oxydifficin และ mycobacillin เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ นอกจากนั้นยังสามารถสร้างเอนไซม์ที่สำคัญได้แก่  $\beta$ -1,3-glucanase และ chitinase ที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราได้ (Singh *et al.*, 2008) *B. subtilis* หลายชนิดมีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth promoting rhizobacteria) เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว อ้อย และพริก (Babalola *et al.*, 2021; Kumari *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2018; Gowtham *et al.*, 2018)

### 2.4.2 ความสำคัญของ *Bacillus subtilis* ในการควบคุมโรคพืช

ปัจจุบันได้มีการศึกษา *B. subtilis* เพื่อใช้ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และสามารถแข่งขันการใช้อาหารบนผิวใบ ดอกหรือผลของพืชได้ดี โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อพืช โดยมีกลไกในการควบคุมโรคพืช 4 ลักษณะ ดังนี้



**การแข่งขัน (competition)** คือการที่เชื้อมีความสามารถในการแข่งขันกับเชื้อสาเหตุโรคพืชในด้านต่าง ๆ เช่น *B. cereus* สายพันธุ์ UW85 มีความสามารถในการดึงเอาธาตุแคลเซียมจากดินมาใช้ในการสร้างสปอร์ของเซลล์ อีกทั้งยังสามารถปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาทำให้ดินมีสภาพเป็นด่าง ส่งผลให้เชื้อ *Phytophthora* spp. ไม่สามารถสร้าง zoospore ได้ (Gilbert *et al.*, 1990) นอกจากนี้ *B. subtilis* สามารถแข่งขันโดยเข้าครอบครองพื้นที่ก่อนการเจริญเส้นใยของ *Sclerotium rolfsii* และ *Rhizoctonia solani* สาเหตุโรคโคนเน่าของมะเขือเทศ (นริศรา และคณะ, 2560) และพบว่า *Bacillus* sp. สายพันธุ์ SPT33.1.2 สามารถเข้าครอบครองพื้นที่ก่อนการเจริญเส้นใยของ *Colletotrichum capsici* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของพริก (ปฏิมาพร, 2551)

**การทำลายชีวิต (antibiosis)** คือการที่เชื้อสามารถผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งหรือทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืช เช่น *B. subtilis* สายพันธุ์ TRV 9-5-2 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเส้นใย *R. solani* สาเหตุโรคใบไหม้ของถั่วหรั่ง โดยสร้างบริเวณใส (inhibition zone) ที่มีความกว้าง 9.3 มิลลิเมตร (Pengnoo *et al.*, 2006) เช่นเดียวกับ *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-1 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเส้นใย *Alternaria longipes* สาเหตุโรคใบจุดของผักสลัด โดยสร้างบริเวณใส (inhibition zone) ที่มีความกว้าง 10 มิลลิเมตร (วานิด, 2552) และ *B. subtilis* สายพันธุ์ NST-002 และ NST-008 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเส้นใย *Cercospora oryzae* สาเหตุโรคใบขีดน้ำตาลของข้าว โดยสร้างบริเวณใส (inhibition zone) ที่มีความกว้างในช่วง 4.14-5.32 มิลลิเมตร (วาริน และคณะ, 2561) นอกจากนี้ *B. cereus* และ *B. amyloliquefaciens* สามารถควบคุมการเจริญเส้นใยของ *Fusarium solani* สาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศได้ 95.2 และ 81.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Ajillogba *et al.*, 2013) ขณะเดียวกัน *B. velezensis* สายพันธุ์ NKG-2 สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของ *F. oxysporum* สาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และพบการผลิตเอนไซม์ chitinase, cellulase,  $\beta$ -glucanase และ amylase เพื่อย่อยผนังเซลล์ของเชื้อรา (Ei *et al.*, 2019) *B. subtilis* สายพันธุ์ PCL1608 และ PCL1612 สามารถผลิตสารปฏิชีวนะ iturin ยับยั้ง *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* สาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศ (Cazorla *et al.*, 2007) *B. Megaterium* สายพันธุ์ 16 สามารถสร้างสารปฏิชีวนะยับยั้ง *R. solani* สาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าวได้ 84 เปอร์เซ็นต์ (Pengnoo *et al.*, 2000) และพบว่าแบคทีเรีย *Bacillus* sp. สายพันธุ์ SM1 สามารถสร้างสารปฏิชีวนะออกมายับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สาเหตุโรครากขาวของยางพาราได้ 80.56 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เส้นใยฝ่อ เกิดรอยย่นบนพื้นผิว มีรู และเส้นใยมีขนาดเล็กลง (ศุภรัตน์, 2564)

**การเป็นปรสิต (parasitism)** คือการเข้าไปเจริญอาศัยทำลายสิ่งมีชีวิตอื่น ในการควบคุมโรคพืชยังไม่ประสบความสำเร็จเหมือนกับปฏิกิริยาการทำลายชีวิตในศัตรูพืช เช่น

*B. megaterium* สายพันธุ์ Ni5SO11 เข้าทำลายไข่ของไส้เดือนฝอย *Melodogyne graminicola* ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรครากปมของข้าว (Padgham and Sikora, 2006)

**การชักนำให้เกิดความต้านทานโรค (induced resistance)** เป็นกลไกการต่อต้านการเกิดโรคพืชที่พืชสร้างขึ้นเองเกิดขึ้นอย่างซับซ้อน และสามารถเกิดขึ้นได้กับทุกพืช (Harman *et al.*, 2006) ซึ่งการชักนำให้เกิดความต้านทานอาจเกิดขึ้นได้เฉพาะจุดหรือเกิดขึ้นทั้งต้น ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสิ่งกระตุ้น (Pal and Gardener, 2006) โดย *B. subtilis* สามารถชักนำให้เกิดความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชมีกลไกการผลิตสารปฏิชีวนะไปกระตุ้นให้พืชเกิดความต่อต้านเชื้อสาเหตุโรคแบบ induced systemic resistance (ISR) หรือ systemic acquired resistance (SAR) เช่น *B. subtilis* สายพันธุ์ TU-Orga1 ชักนำให้เกิดการสะสม salicylic acid (SA) ของผักคะน้า 0.72-0.85 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด เพื่อต่อต้านการเข้าทำลายของแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* และรา *Alternaria* sp. สาเหตุโรคขอบใบทอง โรคเน่าและ และโรคเน่าเปียกผักคะน้า (กฤติเดช และคุสิต, 2559) เช่นเดียวกับ *B. subtilis* สายพันธุ์ AUBS1 มีการชักนำให้ข้าวมีกลไกปกป้องตัวเองโดยผลิตเอนไซม์ phenylalanine ammonialyase และ peroxidase เพิ่มขึ้นเพื่อต้านทานการเข้าทำลายของ *R. solani* สาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าว (Jayaraj *et al.*, 2004) และพบว่า *B. amyloliquefaciens* ชักนำให้มีกลไกปกป้องตัวเองโดยการผลิตเอนไซม์ phenylalanine ammonialyase, peroxidase และ polyphenol oxidase เพิ่มขึ้น เพื่อต่อต้านการเข้าทำลายของ *Colletotrichum truncatum* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของพริก รวมทั้งส่งเสริมการงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ (Gowtham *et al.*, 2018) และนอกจากนี้ *B. subtilis* ยังมีบทบาทในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น *B. velezensis* สายพันธุ์ NKG-2 สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของ *F. oxysporum* สาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศได้ 67 เปอร์เซ็นต์ ในแปลงทดลอง และยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตโดยการผลิต indole-3-acetic acid (IAA) (Ei *et al.*, 2019)

## 2.5 การจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ *Bacillus subtilis* ในการควบคุมโรค

การใช้ *B. subtilis* ในการควบคุมโรคพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ช่วยลดการใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการนำ *B. subtilis* ที่มีประสิทธิภาพมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม นอกจากช่วยควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช ยังสามารถสร้างความต้านทานโรคแก่พืช เช่น การใช้ *B. subtilis* ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (11-48-0) สามารถยับยั้ง *R. solani* สาเหตุโรคโคนเน่าของมะเขือเทศได้เพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (นริศรา และคณะ, 2560) เช่นเดียวกับ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ ALB629 ร่วมกับแมกนีเซียม สามารถยับยั้ง *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* สาเหตุโรค

เหี่ยวของถั่วเหลืองได้เพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ ต้นถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตและมีการสะสมน้ำหนักรากที่เพิ่มขึ้น (Samuel *et al.*, 2015) การใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ LC425129.1 ร่วมกับสังกะสีสามารถยับยั้ง *Alternaria solani* สาเหตุโรคใบไหม้ของมะเขือเทศได้เพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ (Zoia and Amna, 2019) และพบว่าการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และปุ๋ยสูตร 20-8-20 ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของเนื้อดินและรากได้ 42-100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงเหนือดิน เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และการสะสมธาตุอาหารของต้นยางพาราเพิ่มขึ้น (อุบลวรรณ, 2564)

### 3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus* spp. ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมควบคุม *R. microporus* เชื้อสาเหตุโรครากขาวของยางพาราภายในห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนทดลอง

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

#### 1. วัสดุและสารเคมี

##### 1.1 วัสดุอุปกรณ์ด้านการเกษตร

1.1.1 กระดาษเพาะเมล็ดพันธุ์

1.1.2 ภาชนะทดลองขนาด 6 ลิตร

1.1.3 ขุยมะพร้าว

1.1.4 ดินจากสวนยางพารา

1.1.5 ถังเพาะชำขนาด 10 ลิตร

1.1.6 ฟองน้ำเพาะต้นกล้า

1.1.7 แผ่นโฟมหนา 1 นิ้ว

1.1.8 ปุ๋ยสูตร 15-15-15

1.1.9 สารละลายธาตุอาหารพืช

##### 1.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.2.1 nutrient agar (NA)

1.2.2 potato dextrose agar (PDA)

1.2.3 potato dextrose (PDB)

##### 1.3 สารเคมี

1.3.1 กรดซัลฟิวริก (sulphuric acid :  $H_2SO_4$ )

1.3.2 กรดไนตริก (nitric acid :  $HNO_3$ )

1.3.3 กรดบอริก (boric acid :  $H_3BO_3$ )

1.3.4 กรดเพอร์คลอริก (perchloric acid :  $HClO_4$ )

1.3.5 กรดอะซิติก (glucail acetic acid :  $CH_3CHOOH$ )

1.3.6 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid :  $C_6H_8O_6$ )

1.3.7 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric :  $HCl$ )

1.3.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium choride :  $NaOH$ )

1.3.9 โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride :  $NaCl$ )

1.3.10 โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate :  $Na_2SO_4$ )

- 1.3.11 โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dicromate :  $K_2Cr_2O_7$ )
- 1.3.12 เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (ferrous ammonium sulfate hexahydrate :  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )
- 1.3.13 เฟอร์โรอินดิเคเตอร์ (ferroin indicator)
- 1.3.14 แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (magnesium sulfate  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ )
- 1.3.15 สทรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride :  $SrCl_2 \cdot 6H_2O$ )
- 1.3.16 สารผสมเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture)
- 1.3.17 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (standard calcium :  $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ )
- 1.3.18 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard potassium :  $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ )
- 1.3.19 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard phosphorus :  $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ )
- 1.3.20 สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (standard magnesium :  $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ )
- 1.3.21 อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)
- 1.3.22 แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate :  $(NH_4)_2SO_4$ )
- 1.3.23 แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride :  $NH_4F$ )
- 1.3.24 แอมโมเนียมเมทาวานาเดต (ammonium metavanadate :  $NH_4VO_3$ )
- 1.3.25 แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate :  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ )
- 1.3.26 แอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate :  $NH_4OAc$ )

## 2. อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์

- 2.1 กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 และ 5 (whatman filter paper)
- 2.2 กล้องจุลทรรศน์แบบชนิดแสงธรรมดา
- 2.3 โกร่งบดดินและตะแกรงร่อนดิน
- 2.4 ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.5 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (nitrogen distillation apparatus)
- 2.6 เครื่องเขย่า (shaker)
- 2.7 เครื่องเขย่าผสม (vortex mixture)
- 2.8 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.0001 กรัม
- 2.9 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)
- 2.10 เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Ec meter)
- 2.11 เครื่องวัดสีเบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (visible spectrophotometer)

- 2.12 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
- 2.13 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer)
- 2.14 จานเพาะเชื้อ (petri dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร
- 2.15 ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
- 2.16 ตู้ปลอดเชื้อ (laminar air flow cabinet)
- 2.17 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
- 2.18 เตาย่อยตัวอย่าง (digestion block)

### 3. วิธีการทดลอง

3.1 การเจริญของเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 และการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ในอาหารผสมแมกนีเซียม

#### 3.1.1 การเจริญของเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6

นำเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่ผ่านการพิสูจน์สายพันธุ์รุนแรงแล้ว ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยผลของการจัดการดินและแบคทีเรียปฏิบัติการจุลชีววิทยาของดิน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 วางตรงกลางจานเพาะเชื้ออาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจุต่อลิตร ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และบันทึกผลการทดลองโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเจริญของเชื้อรา

จากนั้นตัดปลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม เพื่อไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา

#### 3.1.2 การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Bacillus* spp.

นำแบคทีเรีย *Bacillus* spp. จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 ได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาของดิน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่ มา streak plate บนอาหาร nutrient agar (NA) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเตรียมเซลล์สด (fresh cells) โดยใช้หัวเข็มเย็บแบคทีเรียประมาณ 2 loop ลงเลี้ยงในอาหารเหลว potato dextrose broth (PDB) ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาตรขวดละ 100 มิลลิลิตร และนำไปบ่มโดยการเขย่าด้วยเครื่อง shaker ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ปั่นล้างตะกอนเซลล์ด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ นำเซลล์สดที่ได้ไปแขวนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อทำลายเชื้อที่ปนเปื้อน นำ fresh cells ของแบคทีเรียทั้ง 3 สายพันธุ์ มาทดสอบการเจริญเติบโตด้วยวิธี dilution plate count ทำการเจือจางตามลำดับขั้นในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้ได้ความเข้มข้น  $10^{-8}$  นำไป spread plate บนอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ บ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกผลการทดลองโดยการตรวจนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนผิวหน้าอาหาร (30-300 โคโลนี) และคำนวณโคโลนีจากสูตร

$$\text{จำนวนแบคทีเรีย (cfu/ml)} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีบนจานอาหาร} \times \text{ระดับความเจือจาง}}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ}}$$

### 3.2 การคัดเลือกแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียม

นำแบคทีเรีย *Bacillus* spp. จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ด้วยวิธีการ dual culture technique (Skidmore and Dickinson, 1976) บนอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร โดยนำเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เลี้ยงบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใยที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 วางให้ห่างจากขอบจานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 เซนติเมตร ในฝั่งตรงกันข้ามห่างจากขอบจานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 เซนติเมตร ให้ขีดแบคทีเรีย *Bacillus* sp. (ภาพที่ 1) ทำการทดลองชุดละ 4 ซ้ำ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง บันทึกผลการทดลองโดยวัดความยาวรัศมีการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ Percent Inhibition of Radial Growth (PIRG) ของเชื้อราสาเหตุ (Morton and Stroube, 1995) ดังสูตรด้านล่าง

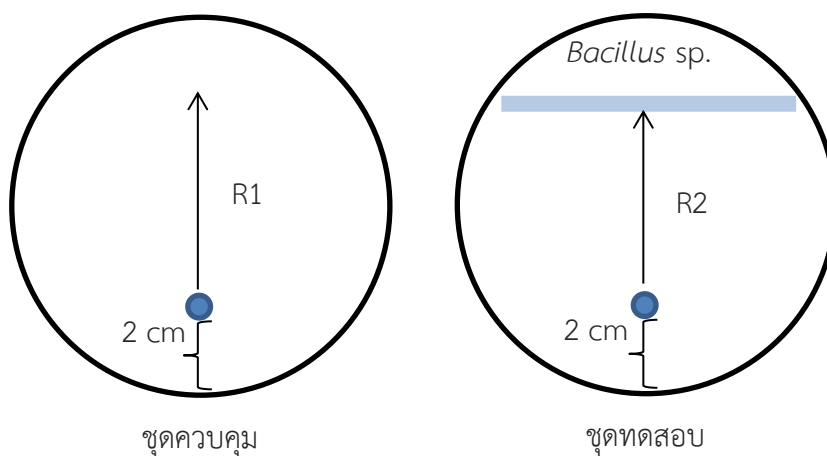
จากนั้นตัดปลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บริเวณที่ถูกยับยั้งด้วยแบคทีเรีย *Bacillus* sp. เพื่อศึกษาลักษณะของเส้นใยเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา

และทำการคัดเลือกแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดี ไปทดสอบในขั้นต่อไป

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (PIRG)} = ((R1-R2)/R1)*100$$

R1 คือ ความยาวรัศมีการเจริญของเส้นใยเชื้อราชุดควบคุม

R2 คือ ความยาวรัศมีการเจริญของเส้นใยเชื้อราชุดทดสอบ



ภาพที่ 1 วิธี dual culture technique

### 3.3 ทดสอบความสามารถของสารปฏิชีวนะ *Bacillus* sp. ต่อการยับยั้งเชื้อรา

#### *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียม

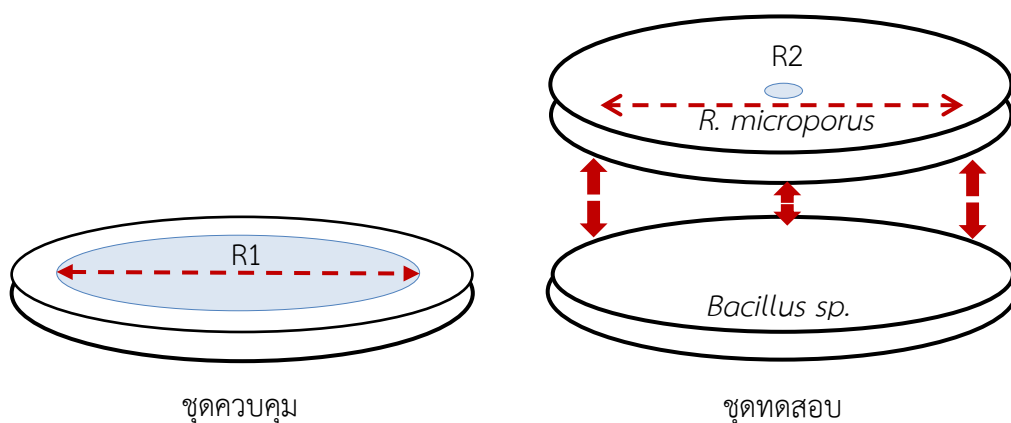
นำ *Bacillus* sp. จำนวน 1 สายพันธุ์ ที่คัดเลือกได้จากข้อที่ 3.2 มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 โดย 3 วิธีได้แก่

##### 3.3.1 วิธี volatile extracellular metabolite test

นำแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 มาทดสอบความสามารถในการสร้างสารระเหย โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะขึ้น PDA ที่บริเวณปลายเส้นใยที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 นำไปวางตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร) นำ fresh cells ของแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ปริมาตร 100 ไมโครลิตร หยดบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อ ใช้แท่งแก้วทรงสามเหลี่ยมเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของคีโซไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจูดต่อลิตร นำจานเพาะเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และนำจานเพาะเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* sp. มาประกบแล้วยึด



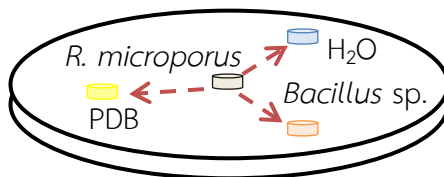
รอยต่อระหว่างจานเพาะเชื้อด้วยพาราฟิล์ม (ภาพที่ 2) ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลการทดลองโดยวัดความยาวรัศมีการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ บันทึกผลโดยวัดรัศมีของเส้นใยเชื้อรา และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งตามสมการในข้อที่ 3.2



ภาพที่ 2 วิธี volatile extracellular metabolite test

### 3.3.2 วิธี agar well diffusion

นำส่วนใส (supernatant) ของแบคทีเรีย *Bacillus sp.* จากในข้อ 3.1.2 ทำการกรองผ่านเมมเบรนปลอดเชื้อขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นแบ่ง supernatant ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปผ่านความร้อนโดยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 20 นาที ส่วนที่ 2 ไม่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นทำการทดสอบสารยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของคิเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจูดต่อลิตร โดยใช้ cork borer เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร เจาะอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 3 จุด ให้มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร (จานอาหารเลี้ยงเชื้อเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร) โดยในแต่ละจุดหยดสารทดสอบ ดังนี้ อาหาร PDB น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อและ supernatant ในอัตรา 50 ไมโครลิตรต่อจานอาหารเลี้ยงเชื้อ นำขึ้นอาหารที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร วางจุดกึ่งกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (ภาพที่ 3) ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ โดยบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน บันทึกผลโดยวัดความกว้างของบริเวณยับยั้ง (inhibition zone) ระหว่างโคโลนีของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 กับอาหาร PDB น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อและ supernatant ของแบคทีเรีย *Bacillus sp.*



ภาพที่ 3 วิธี agar well diffusion

### 3.3.3 วิธี poisoned food

นำแบคทีเรีย *Bacillus sp.* ได้แก่ ส่วนเซลล์สด ส่วนใสผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ และ ส่วนใสไม่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อผสมลงในอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมในรูปของคิเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจ่อลิตร ในอัตรา 50 ไมโครลิตร ต่ออาหารเลี้ยงเชื้อ 20 มิลลิลิตร ด้วยวิธี pour plate เมื่ออาหารแข็งตัว นำชิ้นอาหารที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร วางจุดกึ่งกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร) ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลโดยวัดรัศมีของเส้นใยเชื้อรา และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยตามสมการในข้อที่ 3.2

### 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของ *Bacillus sp.* ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในหลอดทดลอง

ทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรครากขาวในดินผสม (โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ Fox, 1977; ศุภรัตน์, 2564)

เลี้ยงเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ที่บรรจุในหลอดทดลองขนาด 2.5x15 เซนติเมตร บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน นำดินผสมซีลี้อย (9:1) และน้ำกลั่นที่เติมแมกนีเซียมในรูปของคิเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจ่อลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำดินผสมซีลี้อยและน้ำกลั่นที่เติมแมกนีเซียมผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 9:1:3 น้ำหนัก 20 กรัม บรรจุใส่หลอดทดลองที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เจริญอยู่บนผิวอาหารให้ได้ความสูง 5 เซนติเมตร หยดเซลล์สด (fresh cells) ของ *Bacillus sp.* ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเติมดินผสมอีก 5 เซนติเมตร หยด fresh cells ของ *Bacillus sp.* ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน บันทึกผลโดยวัดการเจริญของเส้นใยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ดินผสมซีลี้อยและน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อเพียงอย่างเดียว

### 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของ *Bacillus* sp. ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 บนชิ้นส่วนพืช

เลี้ยงเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมในรูปของ คีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจุต่อลิตร ปริมาณ 15 มิลลิกรัม ที่บรรจุในขวดแก้วขนาด 6x11 เซนติเมตร บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน นำท่อนยางพาราเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร ทำการฟอกฆ่าเชื้อโดยจุ่มในแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ 15 วินาที แช่ท่อนยางพาราในสารละลายคลอริกซ์ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ เวลา 20 นาที โดยทำการเขย่าเป็นระยะ และล้างด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นนำท่อนยางพารามาแช่เซลล์สด (fresh cells) ของ *Bacillus* sp. เป็นเวลา 30 นาที แล้วบรรจุในขวดแก้วที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ท่อน บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือนเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่แช่ท่อนยางพาราด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักของท่อนยางพาราก่อนและหลังการทดลอง พร้อมทั้งศึกษาลักษณะภายในเซลล์ของท่อนยางพาราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดาที่กำลังขยาย 100 เท่า

### 3.6 การทดสอบผลของ *Bacillus* sp. แมกนีเซียมและเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพารา

นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 เซนติเมตร แบ่งเป็น 2 ส่วน 1) วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลองได้ผลดังนี้ แมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ (0.15 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) 2) นำมาทดสอบผลของ *Bacillus* sp. แมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพารา เพาะเมล็ดยางพาราพันธุ์พื้นเมืองในกระดาดเพาะเมล็ดเมื่อรากยางงอกออกมาเป็นดินตุ๊กแก แบ่งเมล็ดออกเป็น 4 ส่วน ส่วนที่ 1 นำเมล็ดยางพาราแช่ในน้ำกลั่น ส่วนที่ 2 แช่เมล็ดยางพาราในเซลล์สด (fresh cells) ของ *Bacillus* sp. ส่วนที่ 3 แช่เมล็ดยางพาราในเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่วนที่ 4 แช่เมล็ดยางพาราในเซลล์สดของ *Bacillus* sp. ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ย้ายเมล็ดลงปลูกในดิน 1 กิโลกรัม ที่ไม่ใส่แมกนีเซียมและใส่แมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ให้มีแมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 0.50 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) จำนวน 12 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 3 เมล็ด ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม + เมล็ดยางพาราแช่ในน้ำกลั่น
- กรรมวิธีที่ 2 แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม + เมล็ดยางพาราแช่ในเซลล์สดของ *Bacillus* sp.

- กรรมวิธีที่ 3 แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 4 แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเซลล์สดของ *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 5 แมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในน้ำกลั่น
- กรรมวิธีที่ 6 แมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเซลล์สดของ *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 7 แมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 8 แมกนีเซียม 0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเซลล์สดของ *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 9 แมกนีเซียม 0.50 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในน้ำกลั่น
- กรรมวิธีที่ 10 แมกนีเซียม 0.50 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเซลล์สดของ *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 11 แมกนีเซียม 0.50 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 12 แมกนีเซียม 0.50 เซนติโมลประจุกต่อกิโกรัม + เมล็ดยางพาราแชในเซลล์สดของ *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

บันทึกผลการเจริญเติบโตของรากยางพารา โดยวัดความยาวของราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของราก ที่อายุของต้นยางพารา 14 และ 28 วัน

### 3.7 การทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในเรือนทดลอง

#### 3.7.1 ในระบบไฮโดรโพนิคส์

##### การเตรียมเชื้อ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

นำเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 มาเลี้ยงบนอาหาร PDA ป่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 จากนั้นนำชิ้นอาหารที่มีเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เลี้ยงในอาหาร PDB ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่บนเครื่องเขย่า (shaker) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

### การเตรียมต้นยางพารา

เพาะเมล็ดยางพาราพันธุ์พื้นเมืองในกระดาษเพาะเมล็ดเป็นเวลา 7-15 วัน ย้ายเมล็ดยางพาราที่งอกกรากออกมาเป็นต้นตุ๊กแกลงฟองน้ำเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นย้ายเมล็ดลงกระถางขนาด 30x22 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง มีน้ำในระบบ 5 ลิตร เติมสารละลายธาตุอาหารพืช โดยมีปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด ได้แก่ ไนโตรเจน 347.80 ฟอสฟอรัส 74.40 โพแทสเซียม 441.10 แคลเซียม 319.70 กำมะถัน 67.50 โบรอน 0.76 ทองแดง 0.85 เหล็ก 6.70 สังกะสี 0.76 แมงกานีส 0.81 โมลิบดินัม 0.0045 และนิกเกิล 0.0002 มิลลิกรัมต่อลิตร และแมกนีเซียมต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 12.00, 36.00 และ 60.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นอัตราส่วนที่ดัดแปลงจากสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร KMITL ทำการแบ่งใส่สารละลายธาตุอาหารพืชตามช่วงอายุของต้นยางพารา คือ ต้นยางพาราอายุ 15-60 วัน (นับตั้งแต่วันเพาะเมล็ด) ทำการแบ่งใส่ 2 ครั้ง ๆ ละ 50 มิลลิลิตร ที่อายุต้นยางพารา 30 และ 45 วัน และเมื่อต้นยางพาราอายุ 60 วัน นำไปทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมเพื่อควบคุมโรครากขาวของยางพารา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) จำนวน 12 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ (1 ต้นต่อ 1 ซ้ำ) ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 2 แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร + แบคทีเรีย *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 3 แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 4 แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร + แบคทีเรีย *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 5 แมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 6 แมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อลิตร + แบคทีเรีย *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 7 แมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อลิตร + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 8 แมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อลิตร + แบคทีเรีย *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 9 แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 10 แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร + แบคทีเรีย *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 11 แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 12 แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร + แบคทีเรีย *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

ที่ต้นยางพาราอายุ 60 วัน ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบก่อนทำการทดสอบ โดยในกรรมวิธีที่ทดสอบการใช้ *Bacillus* sp. เดิมเซลล์สด (fresh cells) ที่มีปริมาณเชื้อ  $10^8$  cfu/ml ปริมาณ 20 มิลลิลิตร กรรมวิธีที่ทดสอบด้วย เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำการปลูกเชื้อราในอัตรา 200 มิลลิลิตร และกรรมวิธีทดสอบ *Bacillus* sp. ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำการเติมเซลล์สดของ *Bacillus* sp. ปริมาณ 20 มิลลิลิตร และปลูกเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอัตรา 200 มิลลิลิตร ระหว่างการทดสอบทำการแบ่งใส่สารละลายธาตุอาหารพืชเป็น 3 ครั้ง ๆ ละ 40 , 30 และ 30 มิลลิลิตร ที่อายุต้นยางพารา 75, 90 และ 105 วัน เพื่อให้ปริมาณครบตามกำหนด สิ้นสุดการทดลองที่อายุต้นยางพารา 120 วัน บันทึกผลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงส่วนเหนือดิน เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ลำต้น ใบ และราก) และเก็บตัวอย่างใบยางพาราทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการหลังสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 1) พร้อมทั้งทำการประเมินความรุนแรงของการเกิดโรคส่วนเหนือดิน และรากของยางพารา

ประเมินระดับความรุนแรงของโรค โดยให้ระดับคะแนนความรุนแรงของการเกิดโรคที่ประเมินด้วยสายตาในส่วนเหนือดินของต้นยางพาราหลังการสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 4 เดือน (ดัดแปลงมาจาก Wattanasilakorn และคณะ 2012; พันธุ์ทิพย์, 2564)

ระดับ 0 = 0 เปอร์เซ็นต์ ต้นสมบูรณ์ไม่แสดงอาการของโรค

ระดับ 1 = 1-25 เปอร์เซ็นต์ ปลายใบเป็นสีเหลืองอ่อน

ระดับ 2 = 26-50 เปอร์เซ็นต์ ขอบใบเหลือง ปลายใบไหม้

ระดับ 3 = 51-75 เปอร์เซ็นต์ ใบมีขนาดเล็ก สีเหลือง ปลายใบไหม้มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ใบ

ระดับ 4 = 76-100 เปอร์เซ็นต์ ใบเป็นสีเหลือง ทั้งใบ ใบไหม้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ใบ ลำต้นแสดงอาการขาดน้ำ

ประเมินระดับความรุนแรงของโรค โดยให้ระดับคะแนนความรุนแรงของการเกิดโรคที่ประเมินด้วยสายตาสวนของรากยางพาราหลังการสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 4 เดือน

ระดับ 0 = 0 เปอร์เซ็นต์ ระบบรากสมบูรณ์ไม่แสดงอาการของโรค

ระดับ 1 = 1-25 เปอร์เซ็นต์ ปลายรากแก้ว รากแขนง และรากฝอยมีสีน้ำตาล

ระดับ 2 = 26-50 เปอร์เซ็นต์ ปลายรากแก้ว และรากแขนงเป็นสีน้ำตาลเข้ม รากฝอยมีสีน้ำตาล ประมาณ 25-50 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวรากทั้งหมด

ระดับ 3 = 51-75 เปอร์เซ็นต์ รากแก้ว และรากแขนงเป็นสีน้ำตาลเข้มประมาณ  
25-50 เปอร์เซ็นต์ รากฝอยเปื่อยยุ่ยและขาด

ระดับ 4 = 76-100 เปอร์เซ็นต์ รากแก้วเป็นสีน้ำตาลเข้มมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์  
รากแขนงเปื่อยยุ่ย มือบีบจะนิ่ม เมื่อดึงรากเนื่อรากแก้วจะหลุดออกมา  
ส่วนระบบรากฝอยถูกทำลายเกือบหมด

นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินมาคำนวณหาดัชนีการเกิดโรค และเปอร์เซ็นต์ลด  
การเกิดโรคโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ดัชนีการเกิดโรค} = \left( \frac{\text{ผลรวมการเป็นโรคแต่ละระดับ}}{\text{จำนวนต้น} \times \text{ระดับการเกิดโรคสูงสุด}} \right) \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ลดการเกิดโรค} = 100 - \left( \frac{\text{ความรุนแรงของโรคในกรรมวิธีทดสอบ}}{\text{ความรุนแรงของโรคในกรรมวิธีควบคุม}} \right) \times 100$$

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของพืช

Parameter	Analysis
Total N (g kg <sup>-1</sup> )	Kjeldahl method
Total P (g kg <sup>-1</sup> )	Yellow molybdovanadophosphoric acid method (Barton, 1948)
Total K (g kg <sup>-1</sup> )	Flame photometer
Total Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Atomic Absorption Spectrophotometer
Total Mg (g kg <sup>-1</sup> )	

### 3.7.2 ดินจากสวนยางพารา

#### การเตรียมเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

นำเมล็ดข้าวฟ่างมาล้างให้สะอาดแล้วนำไปต้มให้เมล็ดแตกเล็กน้อย และผสมกับ  
ซีลี้อย (อัตรา 3:1) นำมาบรรจุใส่ถุงพลาสติกถุงละ 100 กรัม ปิดฝาจุกแล้วนำไปนิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  
121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นปลูกเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในถุง  
ที่มีเมล็ดข้าวฟ่างที่เตรียมไว้ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน หรือจนกว่าเส้นใยเชื้อราเจริญปกคลุม  
ส่วนผสมในถุง จากนั้นนำไปใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

### การเตรียมต้นยางพารา

เพาะเมล็ดยางพาราพันธุ์พื้นเมืองในกระตาะเพาะเมล็ดเป็นเวลา 7-15 วัน เมล็ดยางพาราออกรากออกมาเป็นต้นตุ๊กแก ทำการย้ายเมล็ดยางพาราลงถุงพลาสติกดำบรรจุดิน 5 กิโลกรัมต่อถุง เมื่อต้นกล้ายางพาราอายุ 1 เดือน นำมาทดสอบโดยการใส่ปุ๋ย 2 แบบ 1) ปุ๋ยสูตร 15-15-15 2) ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับการใส่แมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ให้มีแมกนีเซียม 0.50 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม (35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จัดการให้น้ำทุกสองวัน ครั้งละ 500 มิลลิลิตร เมื่อต้นกล้ายางพาราอายุ 3 เดือน ทำการคัดเลือกต้นที่มีลักษณะสมบูรณ์มีขนาดสม่ำเสมอมาทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมเพื่อควบคุมโรครากขาว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) จำนวน 8 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ (1 ต้นต่อ 1 ซ้ำ) ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + แบคทีเรีย *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + แบคทีเรีย *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 5 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 6 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม + แบคทีเรีย *Bacillus* sp.
- กรรมวิธีที่ 7 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6
- กรรมวิธีที่ 8 ปุ๋ยสูตร 15-15-15 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม + แบคทีเรีย *Bacillus* sp. + เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

นำต้นกล้ายางพาราอายุ 3 เดือน ทำการปลูกเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เตรียมไว้ 1 ถุงต่อต้น โดยขุดดินในถุงปลูกบริเวณรอบโคนต้นยางให้ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร และกลบดินปิดให้สนิท หลังจากการปลูกเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ครบ 1 เดือน นำเซลล์ของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีปริมาณเชื้อ  $10^8$  cfu/ml ราบนดินในอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อต้น จัดการให้น้ำทุกสองวัน ครั้งละ 500 มิลลิลิตร และการให้ปุ๋ยเดือนละ 1 ครั้ง (การให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ครั้ง 5 กรัมต่อต้น) บันทึกผลการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ลำต้น ใบ และราก) และเก็บตัวอย่างดินและพืชทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน และ 9 เดือน (ตารางที่ 2 และ 3) พร้อมทั้งทำการประเมินความรุนแรงของการเกิดโรคส่วนเหนือดินและรากของยางพารา ตามข้อ 3.7.1



**ตารางที่ 3** พารามิเตอร์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดิน

Parameter	Analysis
pH	pH meter ดิน: น้ำ = 1: 5
Organic matter	Walkley and Black
Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Kjeldahl method
Available P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Bray II, Molybdenum blue method
Exchangeable K ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1 M $\text{NH}_4\text{OAc}$ pH7 Flame photometer
Exchangeable Ca ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1 M $\text{NH}_4\text{OAc}$ pH7 Atomic Absorption Spectrophotometer
Exchangeable Mg ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Statistical Analysis Program (SPSS ver.26) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดสอบโดยวิธี Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

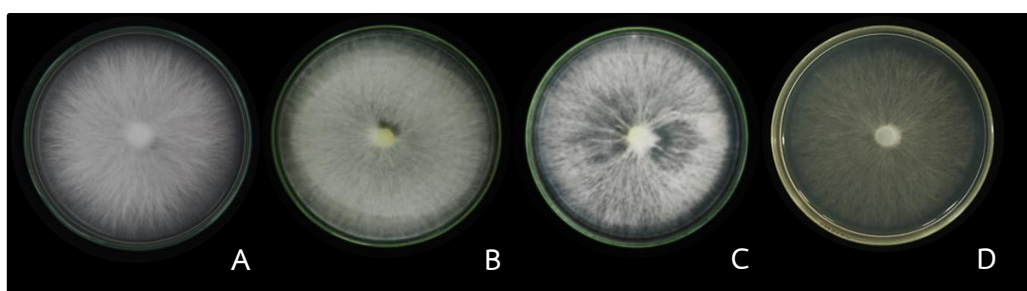
### บทที่ 3

#### ผลการทดลอง

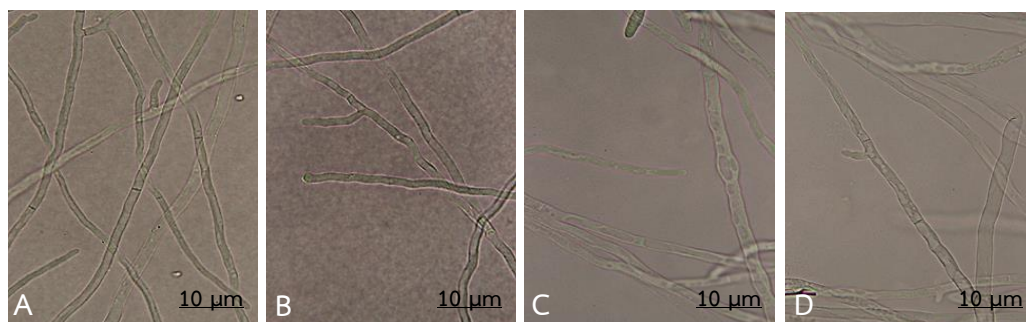
#### 1. ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญของเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 และแบคทีเรีย *Bacillus* spp.

##### 1.1 ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

การเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมทุกระดับความเข้มข้น (ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร) ทำให้เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่สามารถเจริญได้เต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ 7 วัน โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม แต่พบความแตกต่างของลักษณะเส้นใย (ภาพที่ 4) โดยพบว่าเส้นใยเชื้อราสาเหตุในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (ภาพที่ 4B) มีความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 4A) ขณะที่อาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร ทำให้เส้นใยเชื้อราสาเหตุมีการเจริญผิดปกติ เส้นใยมีลักษณะหยาบ และขนาดไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 4C) และอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เส้นใยมีขนาดเล็กและบาง (ภาพที่ 4D) เมื่อตรวจสอบดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดาพบว่า ในอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เส้นใยเชื้อราสามารถเจริญงอกยาวได้ปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 5A และ B) ขณะที่อาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เส้นใยเชื้อราไปงpong และเกิดช่องว่างภายในเซลล์ (ภาพที่ 5C) และอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เส้นใยเชื้อรามีขนาดไม่สม่ำเสมอ และเกิดช่องว่างภายในเซลล์ (ภาพที่ 5D)



ภาพที่ 4 การเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมที่อายุ 7 วัน (A) กรรมวิธีควบคุมแมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (B) แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (C) แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (D) แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร



ภาพที่ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมที่อายุ 7 วัน ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดาที่กำลังขยาย 100 เท่า (A) กรรมวิธีควบคุมแมกนีเซียม 0 เซนติโมลต่อลิตร (B) แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลต่อลิตร (C) แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลต่อลิตร (D) แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลต่อลิตร

## 1.2 ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญของแบคทีเรีย *Bacillus* spp.

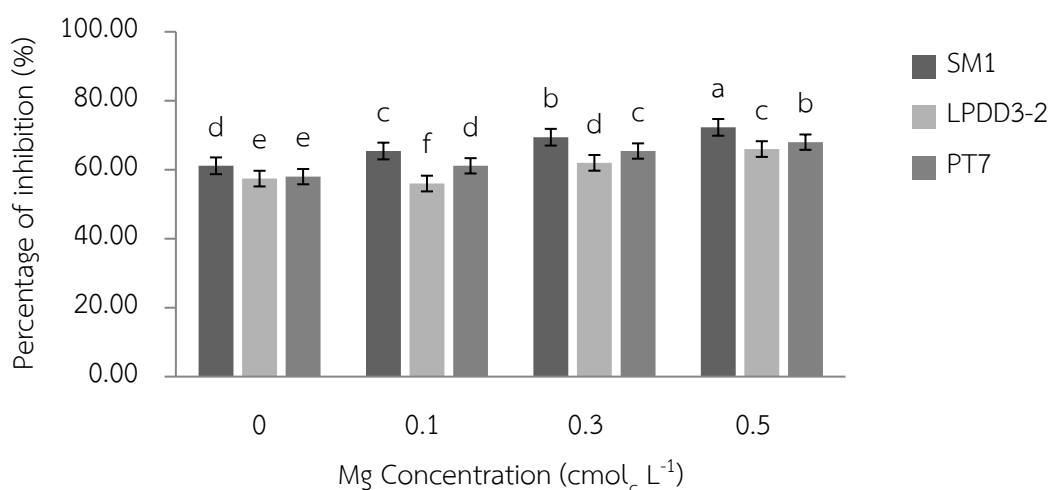
การทดสอบการเจริญของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 ด้วยวิธี dilution plate count บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการตรวจนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนผิวหน้าอาหาร พบว่าปริมาณของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. สามารถเจริญได้ อยู่ในช่วง  $5.40 \times 10^{11}$ - $10.65 \times 10^{11}$  cfu/ml โดยพบว่าอาหารผสมแมกนีเซียมในทุกระดับ แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีปริมาณเชื้อสูงสุด  $7.30 \times 10^{11}$ - $10.65 \times 10^{11}$  cfu/ml ซึ่งมากกว่าแบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 ( $6.20 \times 10^{11}$ - $7.07 \times 10^{11}$  cfu/ml) และ *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 ( $5.40 \times 10^{11}$ - $6.25 \times 10^{11}$  cfu/ml)

## 2. การคัดเลือกแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียม

การทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทั้ง 3 สายพันธุ์ (SM1, LPDD3-2 และ PT7) ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลต่อลิตร) โดยวิธี dual culture technique แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทั้ง 3 สายพันธุ์ (SM1, LPDD3-2 และ PT7) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดี 56.00-72.29 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3) โดยเฉพาะในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุได้สูงสุด 72.29 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 6) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมี

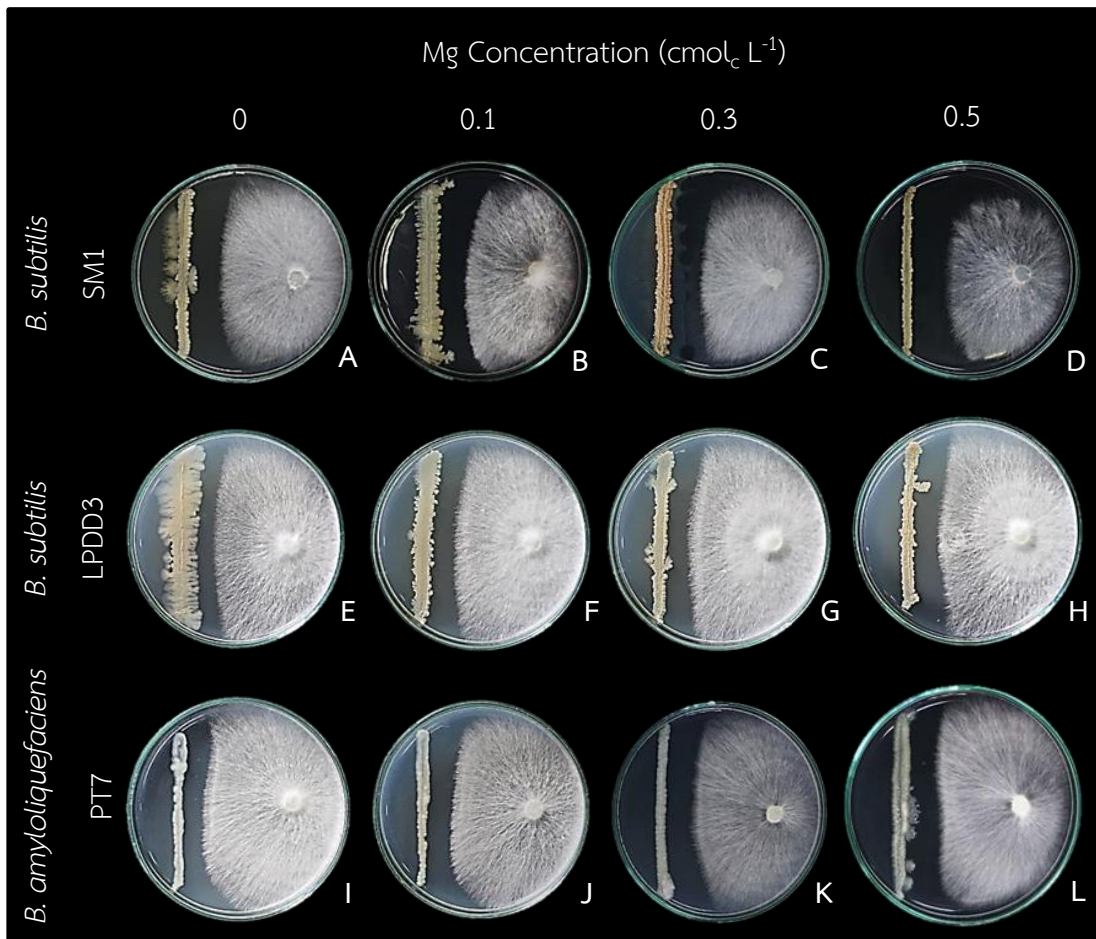
นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมและระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ ขณะเดียวกันในทุกกรรมวิธีทดสอบแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสูงสุด 61.00-72.29 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าแบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 (58.00-68.00 เปอร์เซ็นต์) และ *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 (57.00-66.00 เปอร์เซ็นต์) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

โดยบริเวณปลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่ใกล้กับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 เส้นใยมีการอัดตัวกันแน่น เส้นใยมีลักษณะหนา (ภาพที่ 7) เมื่อนำเส้นใยเชื้อราบริเวณที่ถูกยับยั้งโดยแบคทีเรียตรวจสอบดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา เส้นใยมีขนาดไม่สม่ำเสมอ บิดเบี้ยว โป่งพอง (ภาพที่ 8) และบริเวณปลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่ใกล้กับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 บริเวณปลายเส้นใยมีการอัดตัวกันแน่น มีขนาดไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 7) เมื่อนำเส้นใยเชื้อราบริเวณที่ถูกยับยั้งโดยแบคทีเรียมาตรวจสอบดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา พบว่าเส้นใยมีลักษณะผิดปกติ ขนาดไม่สม่ำเสมอ โป่งพองบริเวณปลายเส้นใย และกุดตัวลง (ภาพที่ 8) ซึ่งมีความแตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมที่เส้นใยเชื้อราสามารถเจริญงอกยาวปกติ ดังนั้นจึงเลือกแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

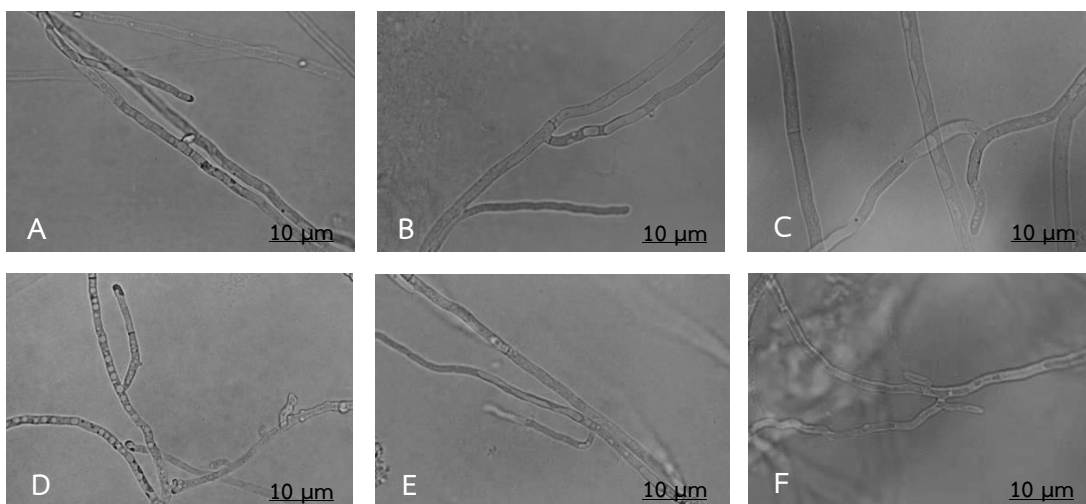


**ภาพที่ 6** เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 โดยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7

**หมายเหตุ:** แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 ที่อายุ 7 วัน (A) กรรมวิธีควบคุม *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 (B) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (C) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (D) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (E) กรรมวิธีควบคุม *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 (F) *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (G) *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (H) *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (I) กรรมวิธีควบคุม *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 (J) *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (K) *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจูดต่อลิตร (L) *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อลิตร



ภาพที่ 8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus* spp. สายพันธุ์ SM1, LPDD3-2 และ PT7 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดาที่กำลังขยาย 100 เท่า (A) กรรมวิธีควบคุม *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 (B) กรรมวิธีควบคุม *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 (C) กรรมวิธีควบคุม *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 (D) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (E) *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (F) *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร

### 3. ความสามารถของสารปฏิชีวนะ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียม

#### 3.1 วิธี volatile extracellular metabolite test

แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถผลิตสารระเหยยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 23.33 เปอร์เซ็นต์ และในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.1, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถผลิตสารระเหยในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 36.11, 46.66 และ 68.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงสุด คือ 68.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมและระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ

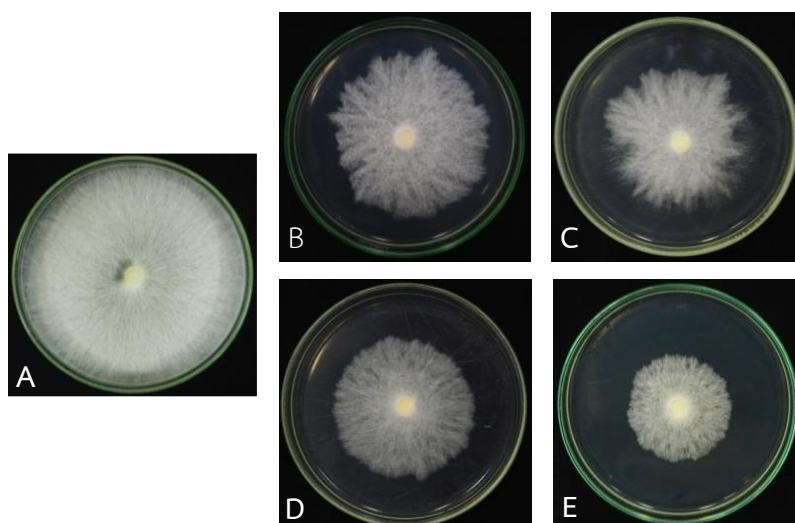
โดยมีผลทำให้เส้นใยเชื้อราในอาหาร PDA (ภาพที่ 9B) ขนาดเส้นใยไม่สม่ำเสมอและฟู บริเวณปลายเส้นใยบาง ขณะที่ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (ภาพที่ 9c) ขนาดเส้นใยมีขนาดเล็กและฟู บริเวณปลายเส้นใยบาง ขณะเดียวกันในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (ภาพที่ 9D) เส้นใยมีขนาดเล็ก ปลายเส้นใยมีการอัดตัวกันแน่นและไม่สามารถเจริญต่อไปได้ และในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (ภาพที่ 9E) เส้นใยมีขนาดเล็กและบาง ปลายเส้นใยมีการอัดตัวกันแน่นและไม่สามารถเจริญต่อไปได้

**ตารางที่ 4** ผลของสารปฏิชีวนะชนิดระเหยได้ของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

Concentration (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Percentage of <i>R. microporus</i>
Mg 0	23.33 ± 0.06 d
Mg 0.1	36.11 ± 1.42 c
Mg 0.3	46.66 ± 0.85 b
Mg 0.5	68.90 ± 0.87 a
Control	0.00 ± 0.00 e
F-test	*
C.V.	4.57

**หมายเหตุ:** แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

\* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 9 ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 บนอาหาร PDA ผสมเมทนีเซียม ที่อายุ 7 วัน ด้วยวิธี volatile extracellular metabolite test (A) กรรมวิธีควบคุม *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (B) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + เมทนีเซียม 0 เซนติโมลประจตุ่อลิตร (C) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + เมทนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจตุ่อลิตร (D) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + เมทนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจตุ่อลิตร (E) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + เมทนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจตุ่อลิตร

### 3.2 วิธี agar well diffusion

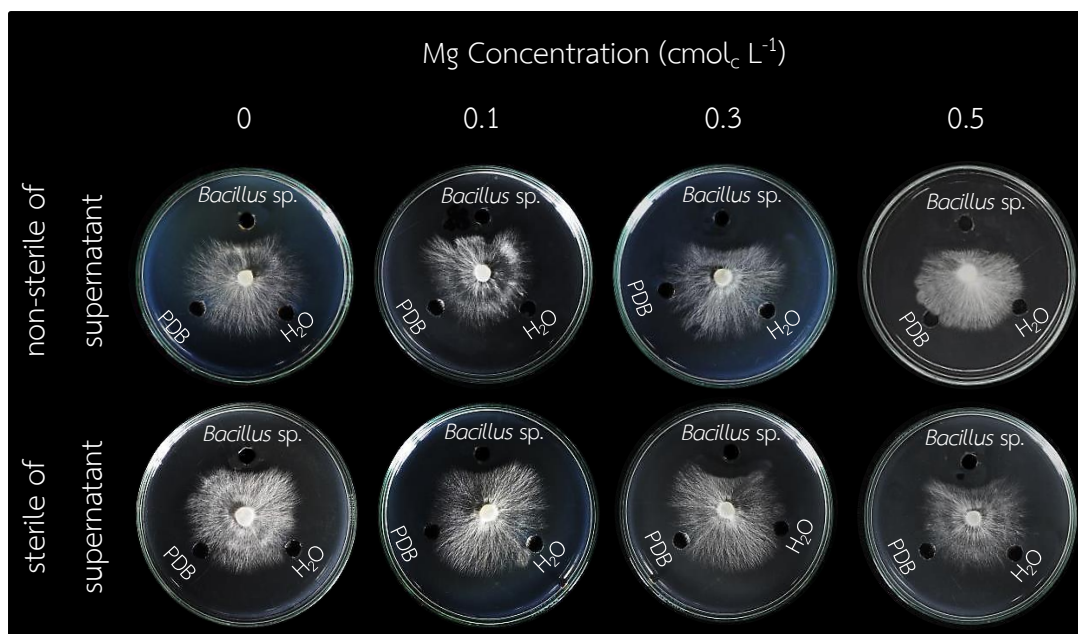
สารปฏิชีวนะไม่แข็งและแข็งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยในอาหาร PDA ผสมเมทนีเซียมสารปฏิชีวนะไม่แข็งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดีที่สุด (55, 60, 62.50 และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) โดยเฉพาะในอาหาร PDA ผสมเมทนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจตุ่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุได้สูงสุด 66.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมและระดับความเข้มข้นของเมทนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ ในขณะที่สารปฏิชีวนะที่แข็งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้น้อย โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง 38.33, 45.00, 50.83 และ 51.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ทำให้เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่ใกล้กับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เส้นใยมีการอัดตัวกันแน่น เส้นใยมีลักษณะบาง (ภาพที่ 10)



ตารางที่ 5 ผลของสารปฏิชีวนะไม่แข็งและแข็งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

Concentration ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ )	Percentage of <i>R. microporus</i>	
	non-sterile of supernatant	sterile of supernatant
Mg 0	55.00 ± 0.48 c	38.33 ± 1.05 c
Mg 0.1	60.00 ± 1.08 b	45.00 ± 0.46 b
Mg 0.3	62.50 ± 1.31 b	50.83 ± 0.65 a
Mg 0.5	66.67 ± 0.81 a	51.66 ± 0.73 a
control	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 d
F-test	*	*
C.V.	4.91	6.45

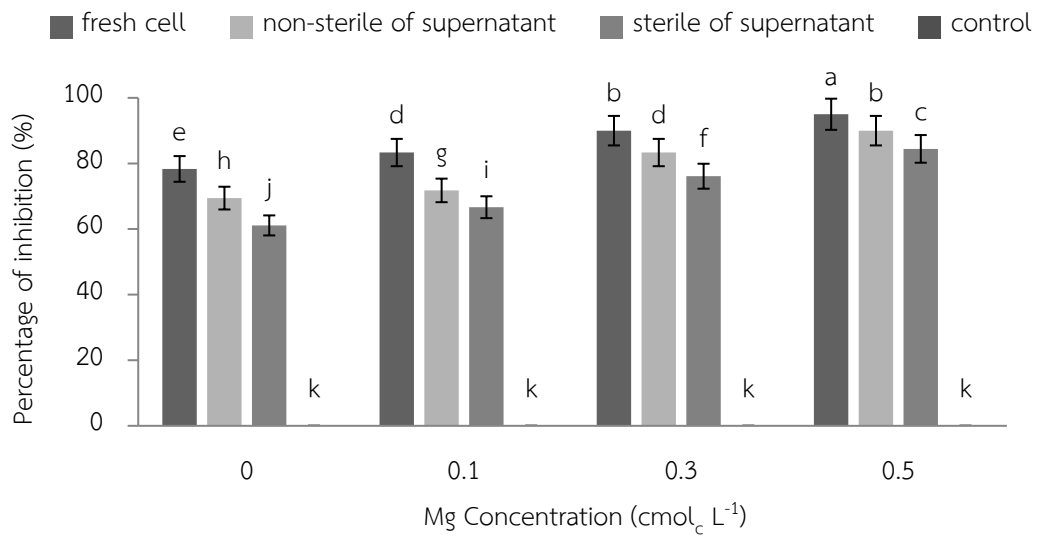
หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



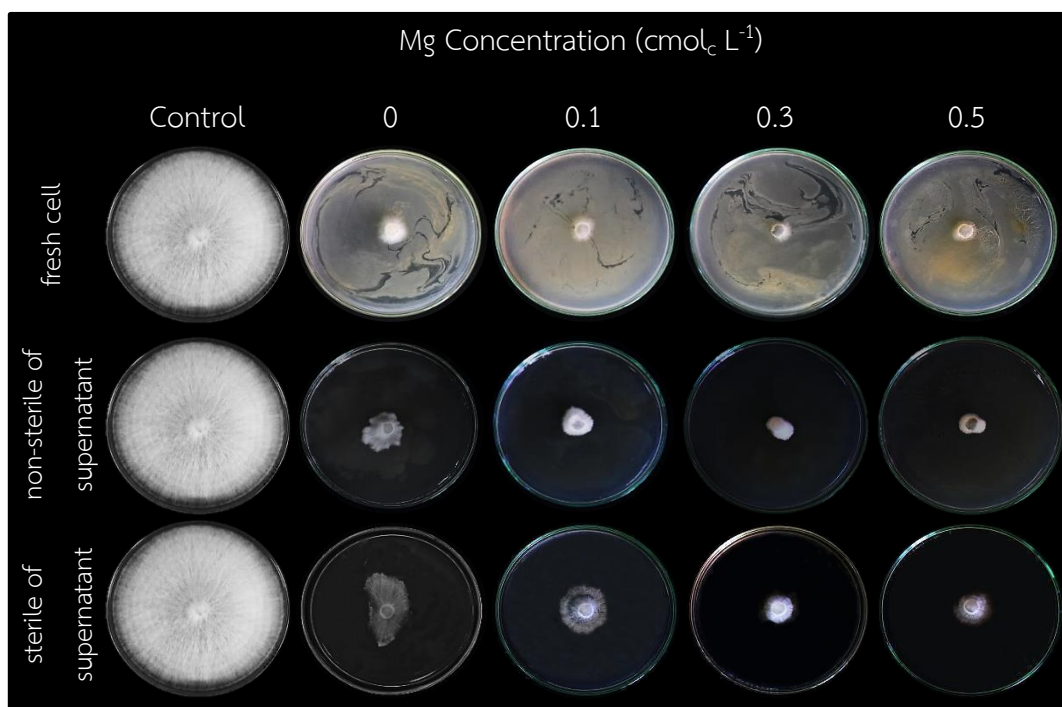
ภาพที่ 10 ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เจริญอยู่ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 บนอาหาร PDA เพิ่มแมกนีเซียม ที่อายุ 7 วัน ด้วยวิธี agar well diffusion

### 3.3 วิธี poisoned food

การทดสอบด้วยวิธี poisoned food เซลล์ สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม สามารถผลิตสารปฏิชีวนะยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 11) โดยพบว่าในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม เซลล์ของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดีที่สุด (78.33, 83.33, 90.00 และ 95.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ภาพที่ 11) โดยเฉพาะในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจําต่อลิตร ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุได้สูงสุด 95.00 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 11) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดสอบอื่น ๆ ขณะที่สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้น้อย โดยสารปฏิชีวนะไม่หนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง 69.44, 71.78, 83.33 และ 90.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสารปฏิชีวนะที่หนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง 61.11, 66.66, 76.11 และ 84.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 11) ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับเซลล์ของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีลักษณะบาง และสามารถเจริญได้น้อย ขณะที่เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับสารปฏิชีวนะไม่หนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีลักษณะขนาดของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ มีการอัดตัวกันแน่น และเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับสารปฏิชีวนะที่หนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีลักษณะบาง ปลายเส้นมีการอัดตัวกันแน่น (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 11 ผลของเซลล์ สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6  
หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 12 ลักษณะของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทดสอบโดยเซลล์ สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 บนอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียมที่อายุ 7 วัน

#### 4. ผลของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในหลอดทดลอง

การเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในดินผสมที่กรรมวิธีควบคุมสามารถเจริญได้เต็มหน้าผิวดินที่ความสูง 10 เซนติเมตร ใช้เวลา 10 วัน (ภาพที่ 13) ในดินผสมที่ใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้ 4.44 เซนติเมตร (ตารางที่ 6) และในดินผสมที่ใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และแมกนีเซียม 0.1, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้ 3.50, 3.00 และ 2.24 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยพบว่าการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงสุดและสามารถเจริญได้ 2.24 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม และทำให้เส้นใยเชื้อรามีการอัดตัว กันแน่นไม่สามารถเจริญต่อไปได้ (ภาพที่ 13)

ตารางที่ 6 ผลของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในหลอดทดลอง

Treatment	Growth of <i>R. microporus</i> (cm)		
	4 days	7 days	10 days
<i>R. microporus</i>	3.30 ± 0.00 d	7.54 ± 0.00 e	9.94 ± 0.02 e
<i>B. subtilis</i>	1.42 ± 0.02 c	4.00 ± 0.00 d	4.44 ± 0.00 d
Magnesium (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )			
0.1	1.26 ± 0.02 b	2.80 ± 0.00 c	3.50 ± 0.00 c
0.3	1.10 ± 0.04 a	2.14 ± 0.01 b	3.00 ± 0.00 b
0.5	1.06 ± 0.01 a	1.72 ± 0.06 a	2.24 ± 0.01 a
F-test	*	*	*
C.V. (%)	7.01	4.23	2.47

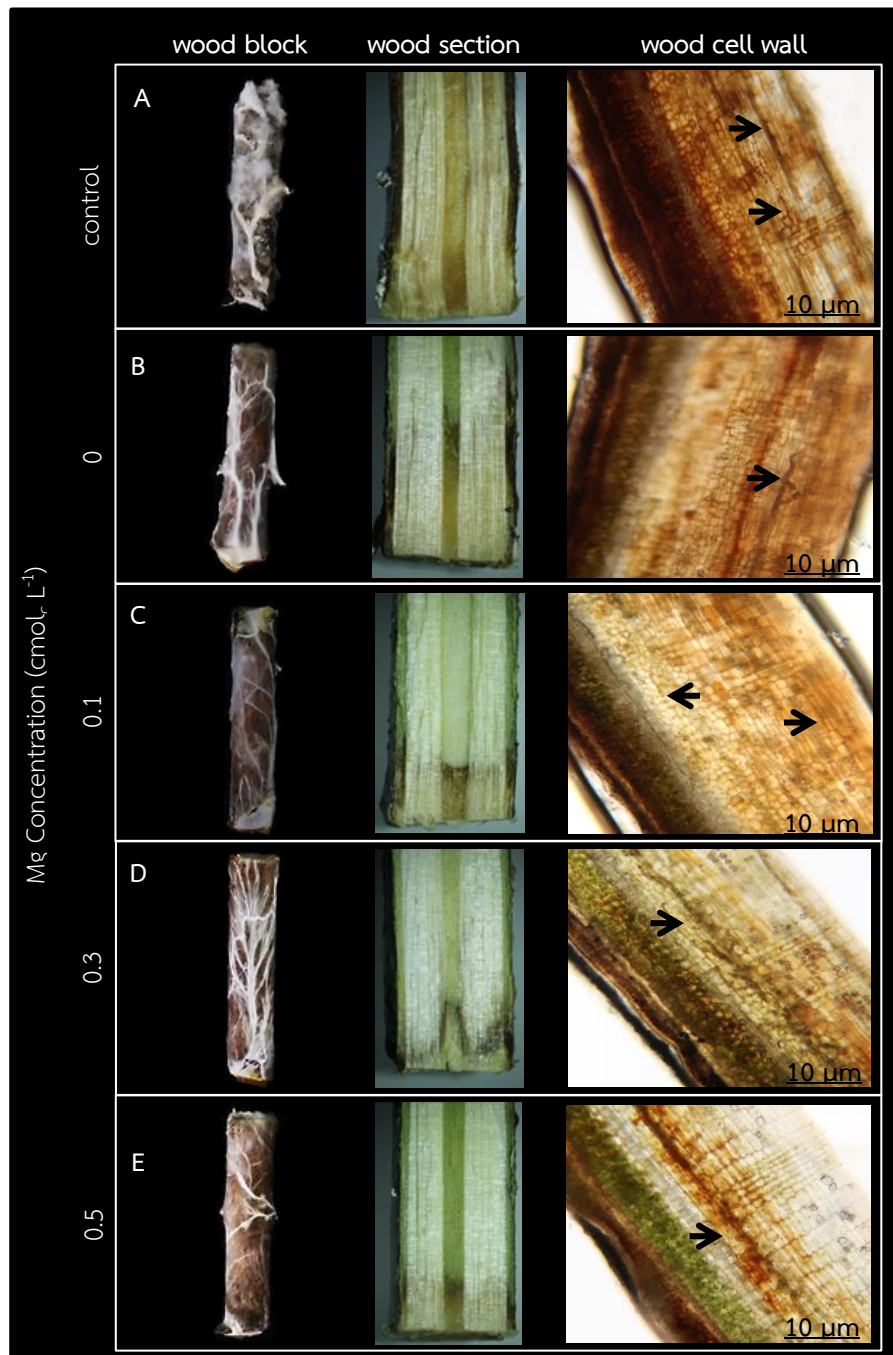
หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 13 ลักษณะการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับเซลล์ของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในดินผสมเพิ่มแมกนีเซียม (A) กรรมวิธีควบคุม *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (B) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (C) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (D) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร (E) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร

##### 5. ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 บนชิ้นส่วนพืช

การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์ของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนชิ้นส่วนพืชร่วมกับอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม พบว่าที่ 2 เดือน น้ำหนักของท่อนยางพาราหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกัน เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เจริญปกคลุมท่อนยางพาราบริเวณเปลือกภายนอก (bark) ในทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 14) เปลือกยางภายนอกมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี แต่เมื่อทำการตัดท่อนยางในแนวตั้งที่กรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรียร่วมกับแมกนีเซียม 0 และ 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เปลือกยางเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อสัมผัสด้วยมือเปลือกยางนิ่มและยุ่ย ขณะที่กรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรียร่วมกับแมกนีเซียม 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เปลือกยางไม่มีการเปลี่ยนสี เมื่อสัมผัสด้วยมือเปลือกยางยังคงแข็ง ส่วนของเนื้อไม้ในทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนสีเป็นสีครีมถึงดำ โดยเฉพาะส่วนของปลายท่อนยางพาราที่สัมผัสกับเชื้อรา เมื่อตัดชิ้นส่วนของท่อนยางมาตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา พบว่า กรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรียร่วมกับแมกนีเซียม 0 และ 0.1 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร เซลล์ของท่อนยางพาราเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลถึงดำ (ภาพที่ 14) ขณะที่กรรมวิธีที่ใช้แบคทีเรียร่วมกับแมกนีเซียม 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร พบเซลล์ของท่อนยางมีสีเขียว และพบการเข้าทำลายของเส้นใยเชื้อราภายในเซลล์ท่อนยางในทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ลักษณะการเข้าทำลายเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่เลี้ยงร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 บนท่อนางพารา (A) กรรมวิธีควบคุม *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (B) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0 เซนติโมลประจ่อลิตร (C) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจ่อลิตร (D) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.3 เซนติโมลประจ่อลิตร (E) *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 + แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจ่อลิตร

หมายเหตุ: ลูกศรคือเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

## 6. ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพารา

การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากยางพาราที่อายุ 14 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 7) พบว่าการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม พบปริมาณรากฝอยเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 15) และสามารถวัดความยาวของรากได้สูง (13.84, 14.00 และ 16.68 เซนติเมตร ตามลำดับ) โดยเฉพาะการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม สามารถวัดความยาวของรากได้สูงสุด 16.68 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดสอบอื่น ๆ (ตารางที่ 7) ขณะเดียวกันการใช้เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ส่งผลให้มีปริมาณรากฝอยลดลง (ภาพที่ 15) ความยาวของรากแก้วลดลงวัดได้ 6.07, 9.01 และ 11.71 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม สามารถวัดความยาวของรากได้ 8.75, 10.29 และ 10.91 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากยางพารามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับความยาวของรากแก้ว และปริมาณของรากฝอย โดยพบว่าการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม มีแนวโน้มทำให้ปริมาณน้ำหนักสดของรากเพิ่มขึ้น (1.09, 1.52 และ 1.51 กรัม ตามลำดับ) ขณะที่การใช้เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม น้ำหนักสดของรากยางพาราลดลง 0.54, 0.81 และ 1.13 กรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ทำให้น้ำหนักสดของรากยางพาราเพิ่มขึ้น 0.61, 0.95 และ 1.18 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และพบว่าน้ำหนักแห้งของรากยางพาราที่มีการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม เพิ่มขึ้น (0.0268, 0.0360 และ 0.0349 กรัม ตามลำดับ) ขณะเดียวกันการใช้เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของรากยางพาราลดลง 0.0099, 0.0172 และ 0.0197 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ทำให้น้ำหนักแห้งของรากยางพาราเพิ่มขึ้น 0.0124, 0.0181 และ 0.0247 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

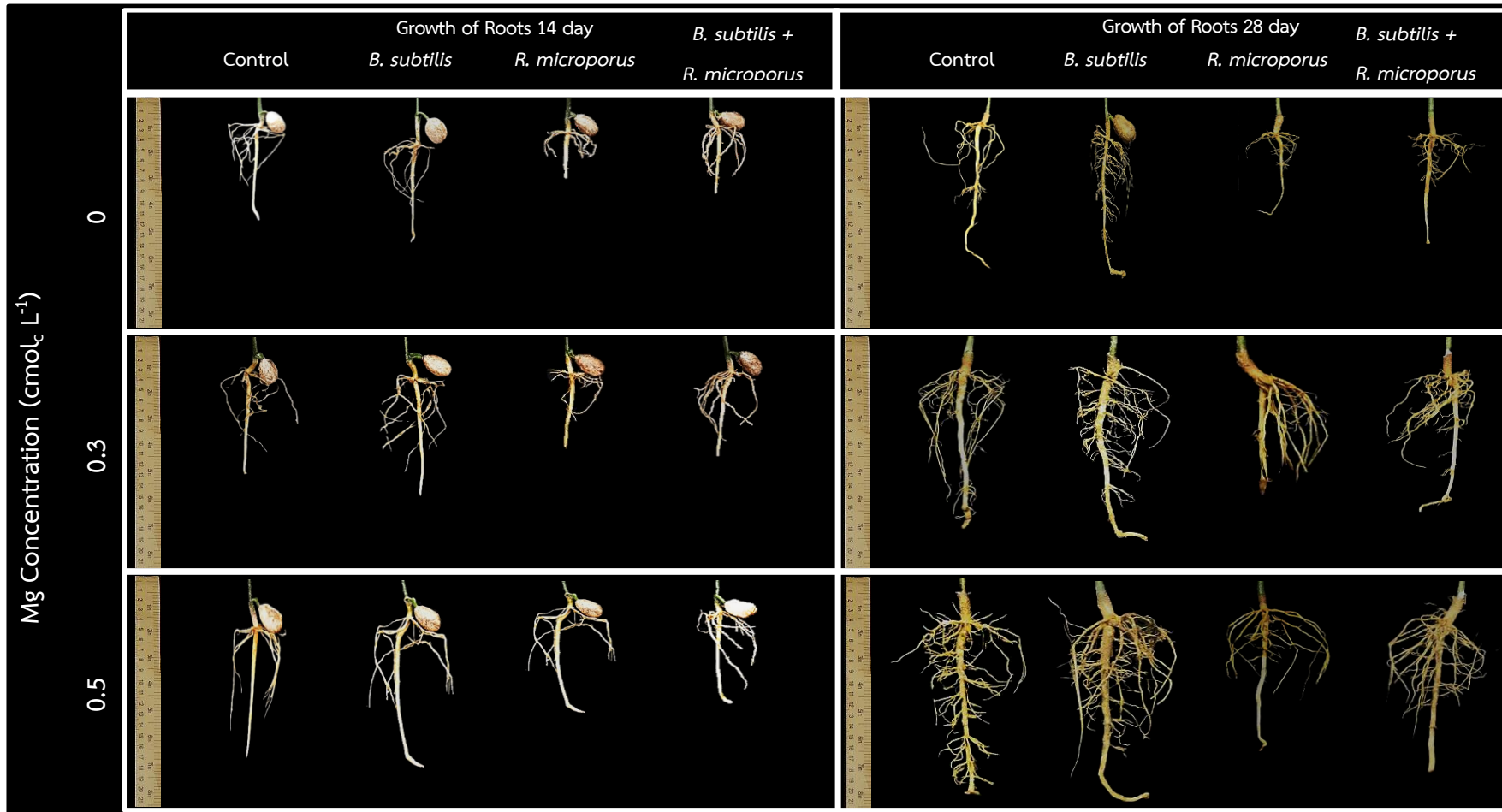
การเจริญเติบโตของรากยางพาราที่อายุ 28 วัน เมื่อมีการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้การเจริญเติบโตของรากยางพาราเพิ่มขึ้น และมีผลการเจริญของรากเช่นเดียวกับต้นยางพาราที่อายุ 14 วัน ดังนั้นการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม พบปริมาณรากฝอยเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 15) และสามารถวัดความยาวของรากได้เพิ่มขึ้น (16.57, 18.86 และ 21.54 เซนติเมตร ตามลำดับ) และสูงสุดที่ใช้ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม วัดความยาวของรากได้ 21.54 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดสอบอื่น ๆ (ตารางที่ 7) ขณะเดียวกันการใช้เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ส่งผลทำให้มีปริมาณรากฝอยลดลง (ภาพที่ 15) ความยาวของรากแก้วลดลงวัดได้ 10.93, 13.87 และ 15.17 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม สามารถวัดความยาวของรากได้ 13.61, 15.77 และ 17.59 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ดังนั้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากยางพาราจึงมีแนวโน้มเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกับความยาวของรากแก้ว และปริมาณรากฝอย พบว่าการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม น้ำหนักสดของรากยางพาราเพิ่มขึ้น (2.12, 2.23 และ 2.54 กรัม ตามลำดับ) และสูงสุดที่ใช้ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม เท่ากับ 2.54 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดสอบอื่น ๆ (ตารางที่ 7) ขณะที่การใช้เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม น้ำหนักสดของรากยางพาราลดลง 1.42, 1.64 และ 1.82 กรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ทำให้น้ำหนักสดของรากยางพาราเพิ่มขึ้น 1.73, 1.84 และ 2.01 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และพบว่า น้ำหนักแห้งของรากยางพาราที่มีการใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม เพิ่มขึ้น (1.0180, 1.0280 และ 1.0040 กรัม ตามลำดับ) ขณะเดียวกันการใช้เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของรากยางพาราลดลง 0.8570, 0.8340 และ 0.8430 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และแมกนีเซียม 0, 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ทำให้น้ำหนักแห้งของรากยางพาราเพิ่มขึ้น 1.0200, 1.0120 และ 1.0170 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7)



ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพารา

Treatment		Growth of Roots					
		Length (cm)		Fresh weights (g)		Dry weights (g)	
		14 days	28 days	14 days	28 days	14 days	28 days
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	10.20 ± 1.57 f	15.06 ± 1.60 f	1.64 ± 0.48 a	2.10 ± 0.02 d	0.0189 ± 0.0026 c	0.8450 ± 0.1155 e
	<i>B. subtilis</i>	13.84 ± 0.77 c	16.57 ± 0.87 e	1.09 ± 0.15 b	2.12 ± 0.02 d	0.0268 ± 0.0069 b	1.0180 ± 0.0074 c
	<i>R. microporus</i>	6.07 ± 1.22 h	10.93 ± 1.20 h	0.54 ± 0.07 d	1.42 ± 0.03 f	0.0099 ± 0.0017 d	0.8570 ± 0.1143 j
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	8.75 ± 0.89 g	13.61 ± 0.87 g	0.61 ± 0.14 d	1.73 ± 0.07 f	0.0124 ± 0.0025 d	1.0200 ± 0.0093 h
Mg 0.3 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	12.73 ± 0.86 d	18.70 ± 0.78 c	1.09 ± 0.12 b	2.22 ± 0.10 c	0.0255 ± 0.0057 b	0.8620 ± 0.0890 c
	<i>B. subtilis</i>	14.00 ± 0.57 c	18.86 ± 0.54 c	1.52 ± 0.23 a	2.39 ± 0.05 b	0.0360 ± 0.0076 a	1.0280 ± 0.0088 b
	<i>R. microporus</i>	9.01 ± 0.74 g	13.87 ± 0.76 g	0.81 ± 0.12 d	1.64 ± 0.02 f	0.0172 ± 0.0008 c	0.8340 ± 0.0843 i
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	10.29 ± 0.82 f	15.77 ± 0.80 f	0.95 ± 0.11 c	1.84 ± 0.03 e	0.0181 ± 0.0029 c	1.0120 ± 0.0086 f
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	15.24 ± 0.83 b	20.10 ± 0.87 b	1.35 ± 0.23 a	2.22 ± 0.02 c	0.0314 ± 0.0074 a	0.8450 ± 0.1140 b
	<i>B. subtilis</i>	16.68 ± 0.82 a	21.54 ± 0.85 a	1.51 ± 0.18 a	2.54 ± 0.01 a	0.0349 ± 0.0074 a	1.0040 ± 0.0059 a
	<i>R. microporus</i>	11.71 ± 0.84 e	15.17 ± 0.59 f	1.13 ± 0.16 b	1.82 ± 0.07 e	0.0197 ± 0.0039 c	0.8430 ± 0.1229 g
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	10.91 ± 0.59 f	17.59 ± 0.82 d	1.18 ± 0.15 b	2.01 ± 0.11 e	0.0247 ± 0.0067 b	1.0170 ± 0.0081 d
F-test		*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		17.27	5.58	12.26	18.34	20.42	15.20

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 15 ผลของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพาราอายุ 14 และ 28 วัน

## 7. ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ในเรือนทดลอง

### 7.1 ในระบบไฮโดรโพนิคส์

#### 7.1.1 ผลของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง

การจัดการแมกนีเซียมร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นยางพารา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ชุดควบคุม) (ตารางที่ 8) โดยต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) มีการเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงสุด โดยมีความสูง 60.25 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นยางพารา 5.31 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 8) เมื่อมีการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นยางพาราเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 8) ขณะเดียวกันการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นยางพาราลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 โดยมีความสูง 40.25 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นยางพารา 4.30 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 การเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นยางพาราลดลงน้อยสุด โดยมีความสูง 49.00 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นยางพารา 4.83 มิลลิเมตร และพบว่าการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นยางพาราลดลง และลดลงน้อยที่สุดที่ต้นยางพาราได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 (53.50 เซนติเมตร และ 5.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 8)

จากการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น โดยต้นยางพารามีความสูงที่เพิ่มขึ้น ลำต้นใหญ่ และใบหนา (ภาพที่ 16) เช่นเดียวกับรากที่มีปริมาณรากฝอยที่หนาแน่น (ภาพที่ 17)

ของต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และรากเพิ่มขึ้น เป็น 11.69, 8.52 และ 13.65 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9) ดังนั้น การใช้แมกนีเซียมที่ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากเพิ่มขึ้นด้วย โดยต้นยางพารามีความสูงที่เพิ่มขึ้น ลำต้นใหญ่ ใบหนาและมีสีเขียว (ภาพที่ 16) เช่นเดียวกันกับรากที่มีปริมาณรากฝอยที่หนาแน่น (ภาพที่ 17) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากเพิ่มขึ้นสูงสุด เป็น 11.24, 8.92 และ 15.76 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9) ขณะเดียวกัน การใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลต่อการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่ลดลง โดยต้นยางพารามีความสูงลดลง ลำต้นเล็ก ใบบาง ใบมีสีเหลืองและขอบใบไหม้ (ภาพที่ 16) รากฝอยมีปริมาณน้อย ปลายรากฝอยมีสีน้ำตาลถึงดำ (ภาพที่ 17) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และรากลดลง และลดน้อยสุดที่ต้นยางพาราได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เป็น 8.22, 7.66 และ 11.39 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9) และพบว่าการใช้แมกนีเซียม (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่ลดลง โดยต้นยางพารามีความสูงลดลง ลำต้นเล็ก ใบบางและมีสีเหลือง (ภาพที่ 16) รากฝอยมีปริมาณน้อย ปลายรากฝอยมีสีน้ำตาล (ภาพที่ 17) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และรากลดลง และน้อยสุดที่ต้นยางพาราได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เป็น 8.39, 8.10 และ 12.00 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9)

ต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ต้น 2.38 กรัม ใบ 2.06 กรัม และราก 4.13 กรัม ตามลำดับ และสูงที่สุดเมื่อมีการใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ได้แก่ ต้น 2.45 กรัม ใบ 2.14 กรัม และราก 4.35 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9) ขณะที่มีการใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลงน้อยสุด ได้แก่ ต้น 1.91 กรัม ใบ 1.82 กรัม และราก 3.04 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่

ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9) และการใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลงน้อยสุด ได้แก่ ต้น 2.07 กรัม ใบ 1.85 กรัม และราก 3.25 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 9)

**ตารางที่ 8** ความสูงส่วนเหนือดิน และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง

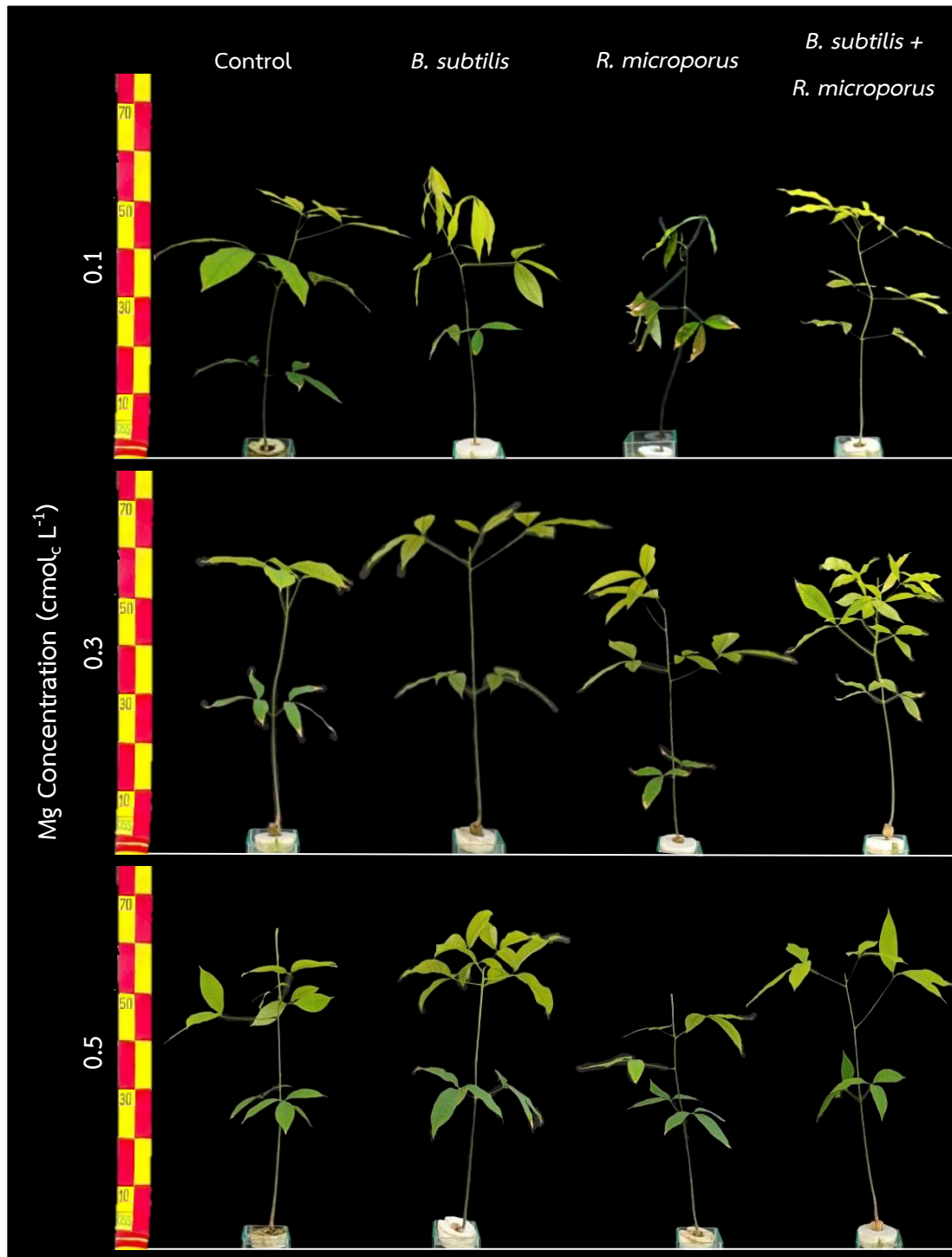
Treatment		Heights (cm)	Diameters (mm)
Mg 12 mg L <sup>-1</sup>	Control	46.00 ± 4.54 d	4.90 ± 0.17 c
	<i>B. subtilis</i>	50.00 ± 0.81 c	5.07 ± 0.09 b
	<i>R. microporus</i>	40.25 ± 1.25 g	4.30 ± 0.11 f
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	43.00 ± 2.00 f	4.50 ± 0.13 e
Mg 36 mg L <sup>-1</sup>	Control	50.00 ± 2.94 c	5.16 ± 0.10 b
	<i>B. subtilis</i>	55.00 ± 1.63 b	5.38 ± 0.16 a
	<i>R. microporus</i>	45.00 ± 2.16 e	4.65 ± 0.09 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	48.25 ± 2.50 c	4.86 ± 0.12 c
Mg 60 mg L <sup>-1</sup>	Control	60.25 ± 2.70 a	5.31 ± 0.17 a
	<i>B. subtilis</i>	54.75 ± 1.70 b	5.53 ± 0.46 a
	<i>R. microporus</i>	49.00 ± 1.41 c	4.83 ± 0.15 c
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	53.50 ± 1.73 b	5.11 ± 0.36 b
F-test		*	*
C.V. (%)		9.06	4.27

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

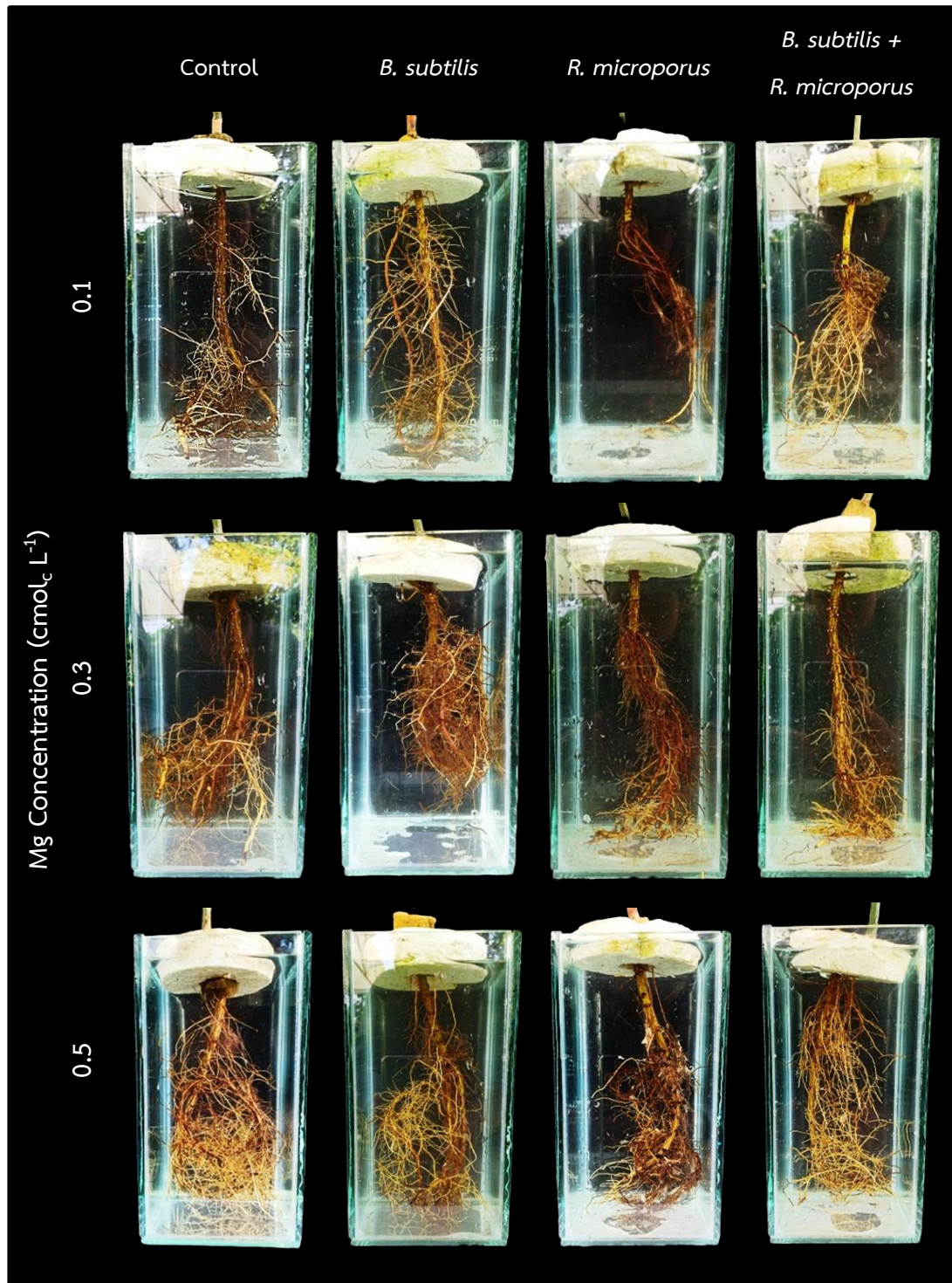
ตารางที่ 9 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ลำต้น ใบ และรากของต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง

Treatment		Fresh weights (g)			Dry weights (g)		
		stem	leaf	root	stem	leaf	root
Mg 12 mg L <sup>-1</sup>	Control	8.04 ± 0.17 e	5.27 ± 0.74 d	10.07 ± 1.30 f	1.59 ± 0.04 f	1.45 ± 0.35 d	2.21 ± 0.39 e
	<i>B. subtilis</i>	8.45 ± 0.65 d	6.62 ± 1.75 d	11.42 ± 1.21 e	2.12 ± 0.04 c	1.56 ± 0.45 d	2.58 ± 0.52 e
	<i>R. microporus</i>	6.83 ± 0.18 e	4.93 ± 0.73 d	7.68 ± 0.66 g	1.22 ± 0.03 g	1.15 ± 0.20 d	1.56 ± 0.58 e
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	7.45 ± 0.70 e	8.18 ± 1.04 a	9.32 ± 0.73 f	1.38 ± 0.04 g	1.26 ± 0.18 d	1.86 ± 0.56 e
Mg 36 mg L <sup>-1</sup>	Control	9.87 ± 1.47 c	6.57 ± 1.82 d	12.44 ± 0.57 c	2.16 ± 0.01 c	1.66 ± 0.10 d	3.22 ± 0.67 d
	<i>B. subtilis</i>	12.23 ± 1.22 a	7.17 ± 1.83 c	14.95 ± 1.95 a	2.30 ± 0.02 b	1.95 ± 0.36 c	3.47 ± 0.98 c
	<i>R. microporus</i>	7.41 ± 0.83 e	5.66 ± 1.16 d	10.77 ± 1.55 f	1.71 ± 0.02 e	1.58 ± 0.35 d	2.15 ± 0.09 e
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	8.01 ± 1.05 e	6.35 ± 1.43 d	11.67 ± 1.60 e	1.92 ± 0.07 d	1.61 ± 0.36 d	2.47 ± 0.38 e
Mg 60 mg L <sup>-1</sup>	Control	11.69 ± 0.90 b	8.52 ± 1.53 a	13.65 ± 1.39 b	2.38 ± 0.03 b	2.06 ± 0.52 b	4.13 ± 0.48 b
	<i>B. subtilis</i>	11.24 ± 2.46 b	8.92 ± 2.55 a	15.76 ± 2.52 a	2.45 ± 0.02 a	2.14 ± 0.45 a	4.35 ± 0.70 a
	<i>R. microporus</i>	8.22 ± 0.85 d	7.66 ± 1.40 b	11.39 ± 1.20 e	1.91 ± 0.04 d	1.82 ± 0.18 c	3.04 ± 0.60 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	8.39 ± 1.16 d	8.10 ± 1.37 a	12.00 ± 1.21 d	2.07 ± 0.02 c	1.85 ± 0.23 c	3.25 ± 1.01 d
F-test		*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		10.49	17.59	11.76	17.65	19.23	19.72

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 16 การเจริญเติบโตของต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 17 ลักษณะของรากยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชหลังสิ้นสุดการทดลอง



### 7.1.2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองในสารละลายธาตุอาหารพืช

ต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียมที่ระดับ 12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบยางพาราเพิ่มขึ้น คือ 0.85, 1.99 และ 2.45 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยเฉพาะการใช้แมกนีเซียมที่ระดับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ชุดควบคุม) (ตารางที่ 10) อย่างไรก็ตามการใช้แมกนีเซียมที่ลดลงที่ระดับ 12 และ 36 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบเพิ่มขึ้น คือ 56.81 และ 43.03 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมในใบลดลง และลดลงมากที่สุดที่การใช้แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) คือ 3.08, 15.20 และ 6.54 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 10) และยังคงผลในลักษณะเดียวกันในการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ยกเว้นความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียม ขณะเดียวกันการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบยางพารา คือ 0.63, 1.35 และ 1.53 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยเฉพาะการใช้แมกนีเซียมที่ระดับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบลดลงน้อยที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 10) และยังคงพบว่าการใช้แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 22.02, 2.40, 14.27 และ 4.27 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และยังคงผลในลักษณะเดียวกันในการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ร่วมกับแมกนีเซียม (ตารางที่ 10)

ใบยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่แมกนีเซียม 12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) คือ 1.24, 3.32 และ 5.07 มิลลิกรัมต่อตัน ตามลำดับ โดยเฉพาะการใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) ทำให้ใบยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 11) และยังคงพบว่าการใช้แมกนีเซียมที่ลดลง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) ทำให้ใบยางพารามีการดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุด 82.73 มิลลิกรัมต่อตัน และมีการดูดใช้โพแทสเซียมลดลง คือ 22.09 มิลลิกรัมต่อตัน ตามลำดับ ขณะที่การใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้ใบยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่

(12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสูงสุดที่ใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 คือ 5.35 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 11) และยังพบว่าไບียงพารามีการดูดใช้ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่แมกนีเซียม (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนในการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ไบียงพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมลดลงตามอัตราที่ใส่แมกนีเซียม 12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 0.72, 2.15 และ 2.81 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และลดลงน้อยที่สุดที่ใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 11) และยังส่งผลให้ไบียงพารามีการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และแคลเซียมลดลง และลดลงน้อยที่สุดที่ใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 คือ 46.28, 4.51 และ 10.50 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 11) และยังส่งผลในลักษณะเดียวกันในการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 (ตารางที่ 11)

### 7.1.3 ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียม ในการควบคุมเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 หลังสิ้นสุดการทดลองในสารละลายธาตุอาหารพืช

ต้นยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถลดการเกิดโรครากขาวส่วนเหนือดินและส่วนรากได้ โดยพบการเข้าทำลายของโรครากขาว 54.33 เปอร์เซ็นต์ และ 56.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 12) โดยต้นยางพาราแสดงความผิดปกติที่ใบล่าง ใบเหลือง ปลายใบไหม้ และส่วนราก รากฝอยมีปริมาณน้อย รากแขนง นิ่มและเปื่อยยุ่ย (ภาพที่ 16 และ 17) ขณะเดียวกันการใช้แมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถลดการเกิดโรครากขาวส่วนเหนือดินและส่วนรากได้เพิ่มขึ้น และสูงสุดที่ใช้แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 โดยพบการเข้าทำลายของโรครากขาว 29.67 เปอร์เซ็นต์ และ 32.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 12) ต้นยางพาราแสดงอาการที่ใบล่าง ปลายใบไหม้ แต่ใบยังคงมีสีเขียว และส่วนของราก รากฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้น และรากแขนงมีสีขาวครีม (ภาพที่ 16 และ 17)

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองในสารละลายธาตุอาหารพืช

Treatment		N	P	K	Ca	Mg
		(g kg <sup>-1</sup> )				
Mg 12 mg L <sup>-1</sup>	Control	56.81 ± 2.94 a	3.08 ± 0.12 c	15.20 ± 0.10 d	6.54 ± 0.10 c	0.85 ± 0.43 f
	<i>B. subtilis</i>	34.13 ± 1.58 c	2.71 ± 0.09 d	16.42 ± 0.22 c	5.37 ± 0.49 f	0.92 ± 0.79 f
	<i>R. microporus</i>	22.02 ± 2.23 g	2.40 ± 0.14 e	14.27 ± 0.08 e	4.27 ± 0.05 g	0.63 ± 1.59 g
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	26.84 ± 1.92 e	2.72 ± 0.16 d	14.86 ± 0.82 e	4.94 ± 0.15 g	0.80 ± 0.32 f
Mg 36 mg L <sup>-1</sup>	Control	43.03 ± 1.67 b	3.30 ± 0.02 b	15.83 ± 0.47 d	6.68 ± 0.10 c	1.99 ± 1.07 c
	<i>B. subtilis</i>	29.26 ± 2.04 d	3.57 ± 0.10 a	16.64 ± 0.79 c	6.92 ± 0.10 b	2.16 ± 0.93 b
	<i>R. microporus</i>	19.85 ± 0.97 i	2.70 ± 0.10 d	14.41 ± 0.30 e	5.15 ± 0.24 f	1.35 ± 0.05 e
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	23.32 ± 2.63 g	2.81 ± 0.07 d	17.97 ± 1.19 b	5.76 ± 0.2 e	1.89 ± 0.63 c
Mg 60 mg L <sup>-1</sup>	Control	36.88 ± 1.38 c	2.64 ± 0.09 d	17.97 ± 0.38 b	6.90 ± 0.07 b	2.45 ± 0.10 a
	<i>B. subtilis</i>	31.90 ± 1.99 d	3.37 ± 0.08 c	20.72 ± 0.46 a	7.65 ± 0.14 a	2.50 ± 0.21 a
	<i>R. microporus</i>	25.31 ± 2.47 f	2.46 ± 0.04 e	15.49 ± 0.75 d	6.19 ± 0.24 d	1.53 ± 0.52 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	27.50 ± 10.20 e	2.85 ± 0.02 d	17.43 ± 0.14 b	6.39 ± 0.04 c	1.91 ± 0.80 c
F-test		*	*	*	*	*
C.V. (%)		6.45	11.05	13.78	9.89	16.71

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 การดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองในสารละลายธาตุอาหารพืช

Treatment		ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางพาราส่วนเหนือดิน (mg plant <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg
Mg 12 mg L <sup>-1</sup>	Control	82.73 ± 9.26 a	4.47 ± 0.30 c	22.09 ± 1.34 e	9.51 ± 0.61 d	1.24 ± 0.14 f
	<i>B. subtilis</i>	53.24 ± 5.03 d	4.24 ± 0.35 d	24.76 ± 1.87 d	10.41 ± 0.45 c	1.44 ± 0.09 f
	<i>R. microporus</i>	25.32 ± 4.55 i	2.79 ± 0.53 f	20.82 ± 3.44 e	7.98 ± 1.21 e	0.72 ± 0.1 f
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	33.82 ± 4.32 g	3.43 ± 0.25 e	20.64 ± 0.94 e	6.78 ± 0.74 f	1.01 ± 0.11 f
Mg 36 mg L <sup>-1</sup>	Control	71.43 ± 3.72 b	5.48 ± 0.35 b	27.63 ± 1.29 c	11.49 ± 0.56 b	3.32 ± 0.24 c
	<i>B. subtilis</i>	57.06 ± 3.06 d	6.96 ± 0.42 a	40.48 ± 2.99 a	14.94 ± 0.69 a	4.23 ± 0.36 b
	<i>R. microporus</i>	31.52 ± 7.67 h	4.26 ± 0.66 d	22.5 ± 3.63 e	6.76 ± 1.29 f	2.15 ± 0.45 e
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	37.55 ± 8.29 g	4.54 ± 0.90 c	23.09 ± 3.26 d	8.32 ± 1.54 e	3.06 ± 0.64 c
Mg 60 mg L <sup>-1</sup>	Control	75.97 ± 12.81 b	5.45 ± 0.48 b	32.00 ± 2.92 b	12.81 ± 1.35 b	5.07 ± 0.72 a
	<i>B. subtilis</i>	68.27 ± 6.79 c	6.59 ± 0.79 a	31.77 ± 3.45 b	10.55 ± 1.01 c	5.35 ± 0.77 a
	<i>R. microporus</i>	46.28 ± 5.00 f	4.51 ± 0.49 c	32.90 ± 3.79 b	10.5 ± 0.67 c	2.81 ± 0.39 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	50.96 ± 6.53 e	5.27 ± 0.27 b	32.25 ± 2.02 b	11.83 ± 0.63 b	3.54 ± 0.34 c
F-test		*	*	*	*	*
C.V. (%)		13.09	13.09	10.77	10.00	15.25

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เชื้อสาเหตุโรครากขาวของยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืช

Treatment		Disease incidence (%)	
		aerial stem	root
Mg 12 mg L <sup>-1</sup>	Control	0	0
	<i>B. subtilis</i>	0	0
	<i>R. microporus</i>	67.67 ± 2.51 a	84.67 ± 4.50 a
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	48.00 ± 2.64 d	64.67 ± 4.51 a
Mg 36 mg L <sup>-1</sup>	Control	0	0
	<i>B. subtilis</i>	0	0
	<i>R. microporus</i>	59.00 ± 3.60 b	68.67 ± 3.51 b
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	44.00 ± 3.60 d	49.67 ± 5.03 a
Mg 60 mg L <sup>-1</sup>	Control	0	0
	<i>B. subtilis</i>	0	0
	<i>R. microporus</i>	54.33 ± 4.04 c	56.00 ± 4.58 a
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	29.67 ± 5.03 e	32.33 ± 6.42 b
F-test		*	*
C.V. (%)		10.30	11.53

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## 7.2 ผลของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมและเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของยางพาราในดินหลังสิ้นสุดการทดลอง

### 7.2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารก่อนปลูกมีค่าพีเอชเป็นกรด (pH 5.20) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (3.09 กรัมต่อกิโลกรัม) และไนโตรเจนทั้งหมดต่ำ (0.25 กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองต่ำ โดยมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (4.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่สกัดได้ต่ำมาก (0.03 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) แมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ (0.15 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) และแคลเซียมที่สกัดได้ปานกลาง (0.28 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินปลูกยางพารา (นุชนารถ, 2556) (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ผลวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง

Parameter	Analytical value	Optimum level (นุชนารถ, 2556)	Interpretation
pH (1:5)	5.20	4.5-5.5	moderate
organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	3.09	15-25	low
Total N (g kg <sup>-1</sup> )	0.25	1.1-2.5	low
Avai. P (mg kg <sup>-1</sup> )	4.23	11-30	low
Exch. K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.03	0.10-0.15	low
Exch. Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.28	>0.30	moderate
Exch. Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.15	>0.30	low

### 7.2.2 ผลการวิเคราะห์ดินหลังสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม พบว่าค่าพีเอช อยู่ในช่วง 4.53-5.73 และ 4.63-5.50 ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของปริมาณธาตุอาหารหลักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ ไนโตรเจนทั้งหมด การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 0.36-1.05 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 มีค่าเท่ากับ 0.21-0.84 กรัมต่อกิโลกรัม และสูงสุดที่ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15

ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เท่ากับ 1.05 กรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทดสอบที่ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 19.12-34.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่มี 18.10-29.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสูงสุดที่ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เท่ากับ 34.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้โพแทสเซียมและแคลเซียมที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินทดสอบที่ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (0.11-0.20 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และ 0.10-0.16 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ 0.33-0.57 และ 0.34-0.48 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (0.28-0.33 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 14)

สมบัติทางเคมีของดินหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับตัวอย่างดินที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน โดยพบว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 4.69-5.00 และ 4.67-5.27 ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของปริมาณธาตุอาหารหลักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ ไนโตรเจนทั้งหมด ดังนั้นการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 0.51-1.17 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 มีค่าเท่ากับ 0.47-1.00 กรัมต่อกิโลกรัม และสูงสุดที่ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เท่ากับ 1.17 กรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 19.12-34.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 มีค่าเท่ากับ 18.10-29.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้โพแทสเซียมและแคลเซียมที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (0.12-0.18 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และ 0.13-0.19 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ 0.32-0.51 และ 0.31-0.45 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (0.27-0.43 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน

Treatment		pH	organic matter	Total N	Avai. P	K	Ca	Mg
		(soil:water: 1:5)	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	5.05 ± 0.08 a	3.50 ± 0.03 c	0.21 ± 0.09 d	18.87 ± 0.01 d	0.11 ± 0.00 e	0.33 ± 0.01 d	0.14 ± 0.02 f
	<i>B. subtilis</i>	4.53 ± 0.21 c	4.01 ± 0.14 c	0.73 ± 0.08 a	31.95 ± 0.03 b	0.12 ± 0.00 d	0.48 ± 0.01 b	0.25 ± 0.01 d
	<i>R. microporus</i>	5.73 ± 0.79 a	6.96 ± 0.21 a	0.25 ± 0.05 c	18.10 ± 0.00 d	0.20 ± 0.01 a	0.48 ± 0.01 b	0.17 ± 0.03 e
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	5.17 ± 0.21 a	7.43 ± 0.32 a	0.84 ± 0.11 a	29.95 ± 0.00 c	0.16 ± 0.00 b	0.57 ± 0.02 a	0.18 ± 0.02 e
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	5.23 ± 0.03 a	3.38 ± 0.04 c	0.36 ± 0.09 c	26.86 ± 0.02 c	0.16 ± 0.00 b	0.46 ± 0.01 c	0.28 ± 0.01 c
	<i>B. subtilis</i>	4.63 ± 0.56 b	3.07 ± 0.27 c	1.05 ± 0.13 a	34.71 ± 1.41 a	0.16 ± 0.01 b	0.48 ± 0.00 b	0.33 ± 0.01 a
	<i>R. microporus</i>	5.50 ± 0.16 a	6.60 ± 0.14 a	0.45 ± 0.10 b	19.12 ± 0.00 d	0.16 ± 0.01 c	0.47 ± 0.01 b	0.28 ± 0.01 c
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	5.20 ± 0.09 a	5.79 ± 0.02 b	0.57 ± 0.59 b	24.25 ± 0.01 d	0.10 ± 0.00 f	0.34 ± 0.01 d	0.30 ± 0.01 b
F-test		*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		7.36	15.70	1.51	15.47	4.57	0.77	12.56

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ตารางที่ 15 สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน

Treatment		pH	organic matter	Total N	Avai. P	K	Ca	Mg
		(soil:water: 1:5)	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	4.74 ± 0.47 b	3.33 ± 0.20 c	0.47 ± 0.08 d	27.81 ± 10.67 c	0.12 ± 0.02 e	0.32 ± 0.02 d	0.15 ± 0.01 e
	<i>B. subtilis</i>	4.69 ± 0.22 b	3.79 ± 0.12 c	1.00 ± 0.10 a	38.10 ± 8.41 b	0.15 ± 0.01 c	0.51 ± 0.01 a	0.29 ± 0.01 b
	<i>R. microporus</i>	5.00 ± 0.36 a	6.16 ± 0.08 b	0.59 ± 0.16 c	20.14 ± 6.49 c	0.17 ± 0.00 a	0.45 ± 0.01 b	0.20 ± 0.01 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	4.85 ± 0.60 a	9.10 ± 0.69 a	0.75 ± 0.56 b	37.44 ± 6.91 b	0.18 ± 0.01 a	0.45 ± 0.01 b	0.19 ± 0.01 d
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	4.67 ± 0.09 b	4.21 ± 0.37 c	0.74 ± 0.11 b	36.68 ± 9.21 b	0.13 ± 0.01 e	0.42 ± 0.00 c	0.27 ± 0.00 c
	<i>B. subtilis</i>	5.00 ± 0.50 a	4.79 ± 0.07 c	1.17 ± 0.09 a	40.02 ± 12.42 a	0.15 ± 0.01 d	0.45 ± 0.01 b	0.40 ± 0.01 a
	<i>R. microporus</i>	5.27 ± 0.04 a	6.06 ± 0.04 b	0.51 ± 0.61 d	23.66 ± 7.39 c	0.19 ± 0.00 a	0.42 ± 0.00 c	0.30 ± 0.01 b
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	5.00 ± 0.23 a	6.90 ± 0.07 b	0.53 ± 0.02 c	47.87 ± 13.71 a	0.17 ± 0.00 b	0.31 ± 0.00 d	0.28 ± 0.01 b
F-test		*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		7.75	24.33	34.83	30.78	6.12	2.24	8.15

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

### 7.2.3 ผลของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลอง

การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมและเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้การเจริญเติบโตของต้นยางพารามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) หลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน ต้นยางพาราที่ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม (ชุดควบคุม) มีการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น โดยต้นยางพารามีความสูงที่เพิ่มขึ้น ลำต้นใหญ่ และใบหนา (ภาพที่ 18) เช่นเดียวกับกับรากที่มีปริมาณรากฝอยที่หนาแน่น (ภาพที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และรากเพิ่มขึ้น เป็น 55.76, 72.26 และ 34.91 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (ชุดควบคุม) (33.90, 29.86 และ 22.09 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 16) ขณะเดียวกันการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น โดยต้นยางพารามีความสูงที่เพิ่มขึ้น ลำต้นใหญ่ ใบหนาและมีสีเขียว (ภาพที่ 18) เช่นเดียวกับกับรากที่มีปริมาณรากฝอยที่หนาแน่นขึ้น (ภาพที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เป็น 72.99, 78.88 และ 37.68 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 16) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีชุดควบคุม ขณะที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลง ทำให้ต้นยางพารามีความสูงลดลง ลำต้นเล็ก และจำนวนใบน้อย (ภาพที่ 18) ส่วนรากมีปริมาณรากฝอยน้อย (ภาพที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากลดลง และลดลงน้อยสุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เป็น 46.17, 47.30 และ 22.98 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (24.61, 24.76 และ 19.16 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 16) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลงน้อยสุด ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากลดลง เป็น 50.04, 53.61 และ 27.49 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

และยังส่งผลให้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับต้นยางพาราที่อายุ 9 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม (ชุดควบคุม) มีการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น โดยต้นยางพารามีความสูงที่เพิ่มขึ้น ลำต้นใหญ่ และใบหนา (ภาพที่ 18)

เช่นเดียวกันกับรากที่มีปริมาณรากฝอยที่หนาแน่น (ภาพที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากเพิ่มขึ้น เป็น 110.09, 93.16 และ 43.81 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (ชุดควบคุม) (69.52, 69.61 และ 39.69 กรัม) (ตารางที่ 16) ขณะเดียวกันการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น โดยต้นยางพารามีความสูงที่เพิ่มขึ้น ลำต้นใหญ่ ใบหนาและมีสีเขียว (ภาพที่ 18) เช่นเดียวกันกับรากที่มีปริมาณรากฝอยที่หนาแน่นขึ้น (ภาพที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากเพิ่มขึ้น และสูงสุดที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เป็น 122.37, 87.30 และ 48.06 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 16) ขณะที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลง ต้นยางพารามีความสูงลดลง ลำต้นเล็ก และจำนวนใบน้อย (ภาพที่ 18) ส่วนรากมีปริมาณรากฝอยน้อย (ภาพที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากลดลง และลดลงน้อยสุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เป็น 73.88, 59.05 และ 43.48 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (51.49, 48.99 และ 29.88 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 16) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลงน้อยสุด ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้น ใบ และส่วนรากลดลง เป็น 87.67, 71.54 และ 45.11 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

น้ำหนักแห้งของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราที่อายุ 6 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม (ชุดควบคุม) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ลำต้น 21.53 กรัม ใบ 15.60 กรัม และราก 13.55 กรัม (ตารางที่ 17) และสูงที่สุดเมื่อมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ได้แก่ ลำต้น 29.80 กรัม ใบ 23.31 กรัม และราก 15.27 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 17) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ขณะที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลง และลดลงน้อยสุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* ได้แก่ ลำต้น 18.74 กรัม ใบ 12.25 กรัม และราก 9.05 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อ

เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (7.68, 9.38 และ 6.09 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 17) และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลง และลดลงน้อยสุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้แก่ ลำต้น 22.90 กรัม ใบ 14.34 กรัม และราก 13.82 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (10.13, 10.25 และ 7.05 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 17)

และยังส่งผลลักษณะเดียวกันกับน้ำหนักแห้งของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม (ชุดควบคุม) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและส่วนรากที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ลำต้น 28.85 กรัม ใบ 21.96 กรัม และราก 22.70 กรัม (ตารางที่ 17) และสูงที่สุดเมื่อมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ได้แก่ ลำต้น 31.92 กรัม ใบ 24.16 กรัม และราก 26.08 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 17) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ขณะที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลง และลดลงน้อยสุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ได้แก่ ลำต้น 18.70 กรัม ใบ 14.01 กรัม และราก 17.21 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (9.34, 10.11 และ 12.74 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 17) และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากลดลง และลดลงน้อยสุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้แก่ ลำต้น 20.87 กรัม ใบ 16.09 กรัม และราก 19.41 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (11.62, 11.68 และ 14.74 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 16 น้ำหนักสด ลำต้น ใบ และราก ของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 และ 9 เดือน

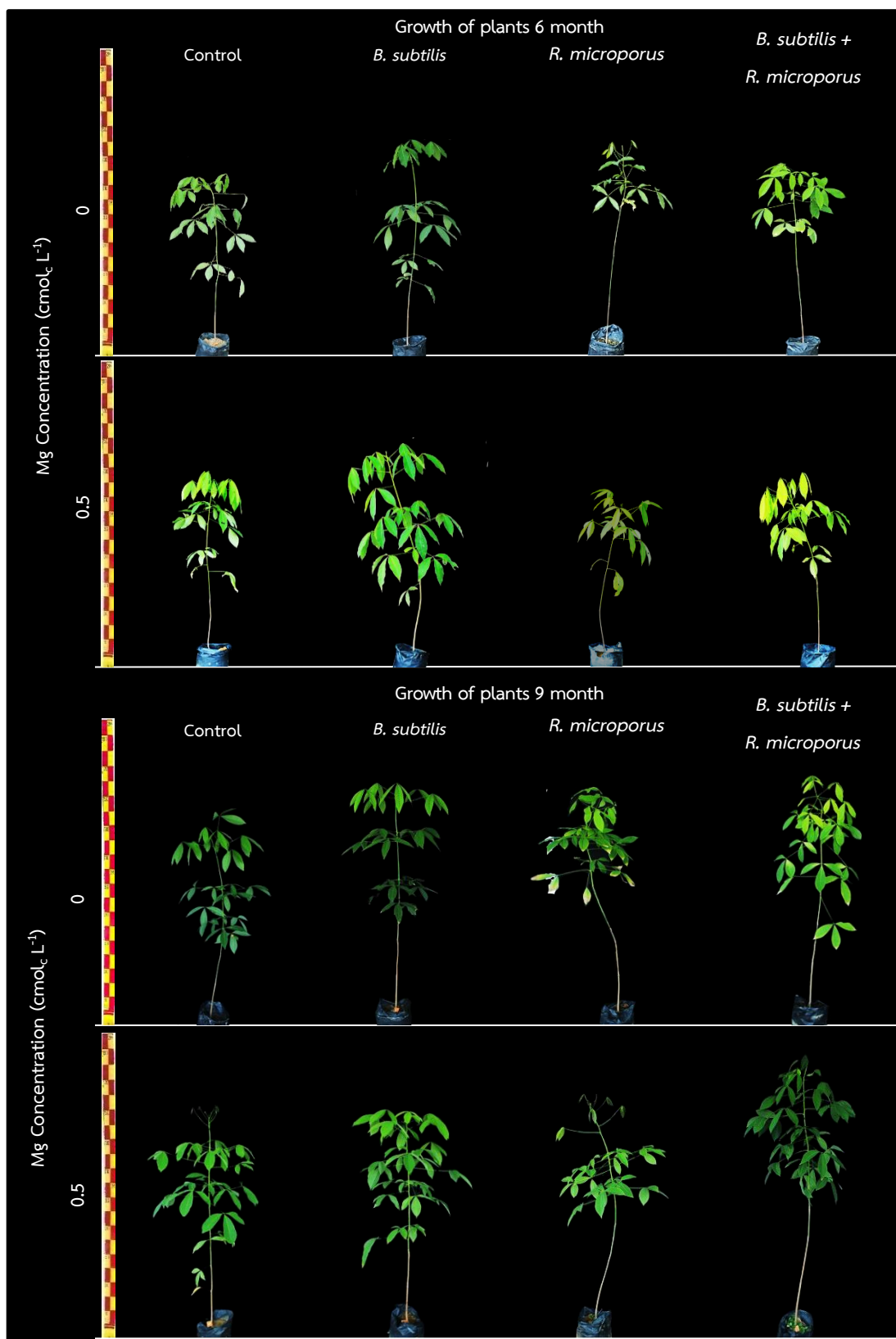
Treatment		Fresh weights (g)					
		stem		leaf		root	
		6 month	9 month	6 month	9 month	6 month	9 month
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	33.90 ± 2.13 d	69.52 ± 4.17 f	29.86 ± 0.59 e	69.61 ± 1.09 d	22.09 ± 2.44 c	39.69 ± 3.17 c
	<i>B. subtilis</i>	34.28 ± 1.21 d	73.88 ± 2.27 f	38.07 ± 4.70 d	72.85 ± 1.96 c	29.01 ± 1.72 b	45.81 ± 1.99 b
	<i>R. microporus</i>	24.61 ± 0.75 e	51.49 ± 3.19 g	24.76 ± 2.67 e	48.99 ± 1.90 f	19.16 ± 0.79 d	29.88 ± 2.54 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	26.22 ± 4.59 e	60.42 ± 2.90 e	26.21 ± 5.14 e	58.65 ± 1.65 e	19.82 ± 1.44 d	39.32 ± 2.60 c
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	55.76 ± 2.02 b	110.9 ± 3.26 b	72.26 ± 9.09 a	93.16 ± 3.17 a	34.91 ± 2.44 a	43.81 ± 4.14 b
	<i>B. subtilis</i>	72.99 ± 5.25 a	122.37 ± 3.9 a	78.88 ± 9.67 a	87.30 ± 1.64 b	37.68 ± 1.19 a	48.06 ± 1.41 a
	<i>R. microporus</i>	46.17 ± 8.29 c	73.88 ± 2.27 d	47.30 ± 4.04 c	59.05 ± 0.93 e	22.98 ± 3.45 c	43.48 ± 0.64 b
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	50.04 ± 7.69 b	87.67 ± 2.62 c	53.61 ± 1.96 b	71.54 ± 1.29 c	27.49 ± 1.82 b	45.11 ± 2.67 b
F-test		*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		9.97	3.59	11.72	2.85	8.07	7.86

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

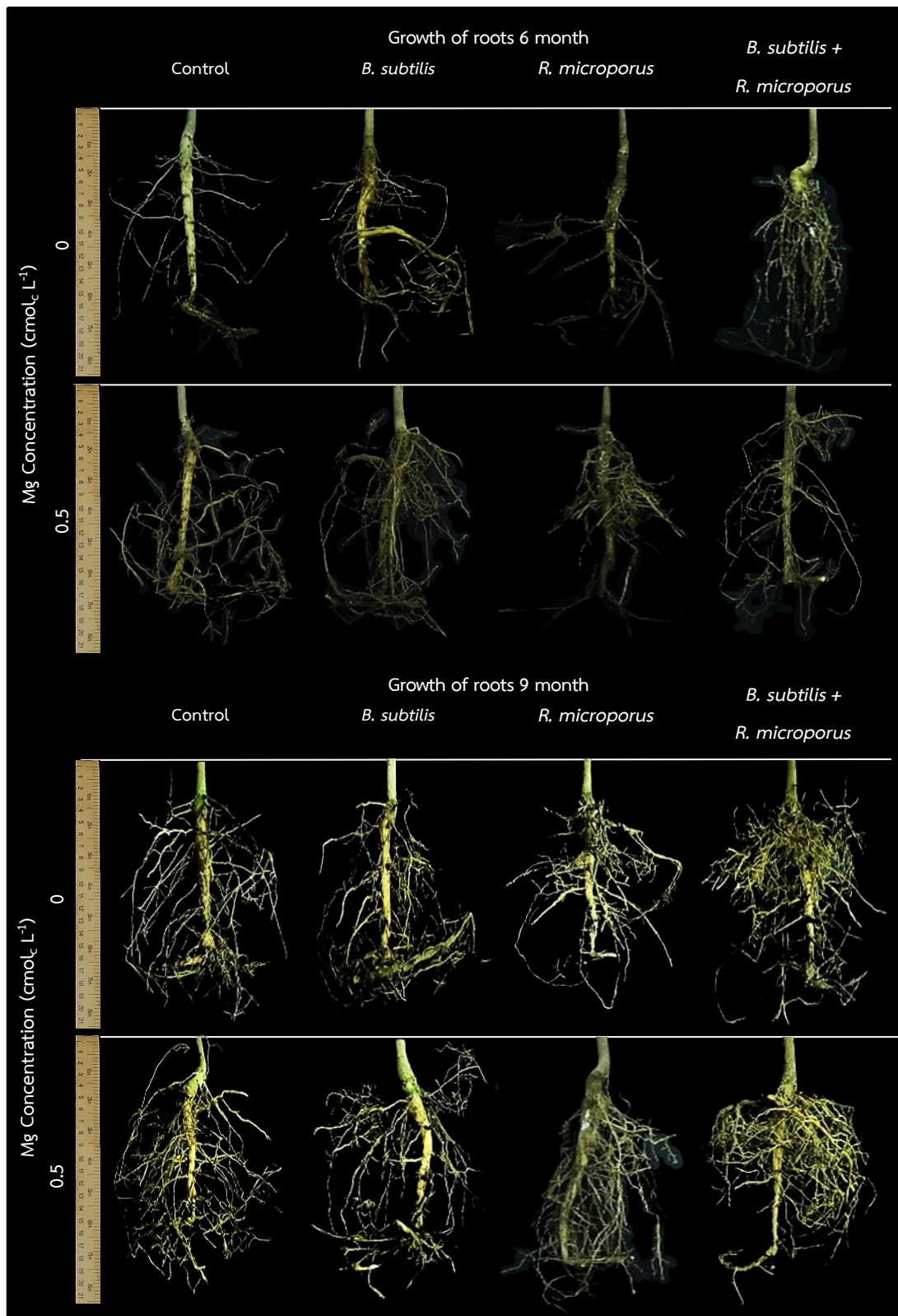
ตารางที่ 17 น้ำหนักแห้งลำต้น ใบ และราก ของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 และ 9 เดือน

Treatment		Dry weights (g)					
		stem		leaf		root	
		6 month	9 month	6 month	9 month	6 month	9 month
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	11.70 ± 0.92 d	11.7 ± 0.92 d	8.98 ± 1.74 e	14.01 ± 0.63 e	10.32 ± 0.89 c	15.86 ± 2.04 e
	<i>B. subtilis</i>	13.62 ± 1.15 d	17.15 ± 1.99 c	11.28 ± 1.76 e	17.42 ± 1.07 c	13.73 ± 0.71 b	17.21 ± 1.53 d
	<i>R. microporus</i>	7.68 ± 1.19 e	9.34 ± 1.79 e	9.38 ± 1.06 e	10.11 ± 0.71 g	6.09 ± 0.75 d	12.74 ± 0.85 g
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	10.13 ± 1.16 d	11.62 ± 2.31 d	10.25 ± 2.03 e	11.68 ± 1.43 f	7.05 ± 0.87 d	14.74 ± 1.10 f
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	21.53 ± 1.69 b	28.85 ± 1.08 a	15.60 ± 1.02 b	21.96 ± 0.59 b	13.55 ± 1.87 b	22.70 ± 1.14 b
	<i>B. subtilis</i>	29.80 ± 4.26 a	31.92 ± 2.64 a	23.31 ± 2.64 a	24.16 ± 0.58 a	15.27 ± 2.15 a	26.08 ± 2.00 a
	<i>R. microporus</i>	18.74 ± 1.86 c	18.70 ± 0.92 b	12.25 ± 1.54 d	14.01 ± 1.63 e	9.05 ± 1.51 d	17.21 ± 1.53 d
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	22.90 ± 2.21 b	20.87 ± 1.17 b	14.34 ± 2.32 c	16.09 ± 2.01 d	13.82 ± 3.07 b	19.41 ± 0.91 c
F-test		*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		12.18	9.18	13.06	7.03	14.89	7.03

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 18 การเจริญเติบโตของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 19 ลักษณะของรากต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลอง



#### 7.2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลอง

หลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 18) ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบลดลง เป็น 40.16, 1.67, 11.66 และ 5.38 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบเพิ่มขึ้น เป็น 62.48, 1.69, 14.69 และ 8.77 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 18) ยังพบว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบเพิ่มขึ้น เป็น 79.88 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 18) และยังส่งผลในลักษณะเดียวกันกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับ เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 โดยความเข้มข้นของไนโตรเจน ในใบเพิ่มขึ้น เป็น 60.41 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 18)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (ชุดควบคุม) และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบยางพาราไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 19) แต่การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 เพียงอย่างเดียว (ชุดควบคุม) ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบเพิ่มขึ้น เป็น 59.97, 2.04, 15.81 และ 7.47 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 19) และยังส่งผลลักษณะเดียวกันกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ที่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบเพิ่มขึ้น เป็น 65.17, 2.75, 17.35 และ 7.53 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 19) และพบว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบเพิ่มลดลง (59.46, 2.04, 14.70 และ 8.00 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ 64.18, 2.07, 11.24 และ 4.81 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) เช่นเดียวกันกับใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่ ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ในใบลดลง (ตารางที่ 19)

การดูค่าธาตุอาหารในใบยางพาราเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณการใช้ธาตุอาหารของต้นยางพารา จะเห็นได้ว่าพืชดูดใช้ปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุด ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ

โพแทสเซียม รองลงมาคือธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียม จากการสังเกตจะเห็นว่าการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 6 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม (ชุดควบคุม) ต้นยางพาราดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น เป็น 628.49, 25.80, 182.18, 84.56 และ 21.72 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 20) และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็น 1,020.00, 40.72, 293.73, 122.35, 42.11 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 20) เมื่อมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต้นยางพารามีการดูดใช้ธาตุอาหารลดลง และน้อยที่สุดที่การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในโตรเจน 983.11 มิลลิกรัมต่อต้น ฟอสฟอรัส 20.46 มิลลิกรัมต่อต้น โพแทสเซียม 161.01 มิลลิกรัมต่อต้น แคลเซียม 58.60 มิลลิกรัมต่อต้น และแมกนีเซียม 20.00 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 20) และยังพบว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต้นยางพารามีการดูดใช้ธาตุอาหารลดลง ในโตรเจน 857.78 มิลลิกรัมต่อต้น ฟอสฟอรัส 26.92 มิลลิกรัมต่อต้น โพแทสเซียม 184.10 มิลลิกรัมต่อต้น แคลเซียม 69.39 มิลลิกรัมต่อต้น และแมกนีเซียม 29.14 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 20)

และพบว่า การดูดใช้ธาตุอาหารในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 9 เดือน ส่งผลลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม (ชุดควบคุม) ต้นยางพาราดูดใช้ธาตุอาหารในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น เป็น 927.87, 35.79, 295.10, 105.56 และ 34.27 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 21) และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน 1,404.49 มิลลิกรัมต่อต้น ฟอสฟอรัส 54.12 มิลลิกรัมต่อต้น โพแทสเซียม 315.24 มิลลิกรัมต่อต้น แคลเซียม 134.61 มิลลิกรัมต่อต้น และแมกนีเซียม 39.86 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 21) ขณะเดียวกันการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ต้นยางพารามีการดูดใช้ธาตุอาหารลดลง และน้อยที่สุด มีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน 908.84 มิลลิกรัมต่อต้น ฟอสฟอรัส 29.63 มิลลิกรัมต่อต้น โพแทสเซียม 157.30 มิลลิกรัมต่อต้น แคลเซียม 67.45 มิลลิกรัมต่อต้น และแมกนีเซียม 26.05 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 21) และการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่ใส่ ยังส่งผลให้การ

ดูดใช้ธาตุอาหารลดลง ไนโตรเจน 934.87 มิลลิกรัมต่อต้น ฟอสฟอรัส 35.17 มิลลิกรัมต่อต้น โพแทสเซียม 200.13 มิลลิกรัมต่อต้น แคลเซียม 95.91 มิลลิกรัมต่อต้น และแมกนีเซียม 24.26 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 21)

### 7.2.5 ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียม ในการควบคุมเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 หลังสิ้นสุดการทดลอง

หลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microsporus* สามารถลดการเข้าทำลายของโรครากขาวในส่วนเหนือดินและส่วนรากของต้นยางพาราได้ โดยพบการเข้าทำลาย 17.67 และ 36.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* ที่สามารถลดการเข้าทำลายของโรครากขาวในส่วนเหนือดินและส่วนรากของต้นยางพาราได้ โดยพบการเข้าทำลายของโรค 61.33 และ 67.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้ต้นยางพาราที่โรครากขาวเข้าทำลายแสดงความผิดปกติที่ใบล่าง ใบเหลือง ปลายใบไหม้ และใบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีลักษณะเรียวยาวเล็ก (ภาพที่ 18) ในส่วนของราก รากฝอยน้อย รากแขนงนิ่มและเปื่อยยุ่ย และรากแก้วเป็นสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 19) ขณะเดียวกันการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microsporus* สามารถลดการเกิดโรครากขาวได้เพิ่มขึ้นและสูงสุดที่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สามารถลดการเกิดโรครากขาวของส่วนเหนือดินและส่วนรากได้ โดยพบการเข้าทำลาย 11.33 และ 28.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) โดยเมื่อสังเกตลักษณะของต้นยางพาราในส่วนเหนือดินจะแสดงอาการที่ใบล่าง ปลายใบไหม้ แต่ใบยังคงมีสีเขียว ในส่วนของราก รากฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลบริเวณปลายราก และรากแขนงมีสีขาวครีม (ภาพที่ 18 และ 19)

ขณะที่หลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม และเชื้อรา *R. microsporus* สามารถลดการเข้าทำลายของโรครากขาวในส่วนเหนือดินและส่วนรากของต้นยางพาราได้ โดยพบการเข้าทำลาย 9.33 และ 12.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* ที่สามารถลดการเข้าทำลายของโรครากขาวในส่วนเหนือดินและรากของต้นยางพาราได้ โดยพบการเข้าทำลายของโรครากขาว 68.00 และ 32.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยต้นยางพาราแสดงความผิดปกติที่ใบล่าง ใบเหลือง ปลายใบไหม้ ใบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีลักษณะเรียวยาวเล็ก และมีการบิดเบี้ยวของใบ (ภาพที่ 18) ส่วนของราก รากฝอยมีสีดำนิ่ม รากแขนงมีสีน้ำตาล และรากแก้วมีสีขาวครีม (ภาพที่ 19)

ขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สามารถลดการเกิดโรครากขาวได้เพิ่มขึ้นและสูงสุด ต้นยางพาราแสดงอาการเกิดโรครากขาวของส่วนเหนือดินและส่วนราก โดยพบการเข้าทำลาย 35.00 และ 4.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ทำให้ต้นยางพาราที่ถูกโรครากขาวเข้าทำลายแสดงความผิดปกติที่ใบล่าง ใบเหลือง ปลายใบไหม้ ใบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีลักษณะเรียวยาวเล็ก และมีการบิดเบี้ยวของใบ (ภาพที่ 18) ส่วนของ ราก รากฝอยมีสีดำนํม รากแขนงมีสีน้ำตาล และรากแก้วมีสีขาวครีม (ภาพที่ 19) ขณะเดียวกันการใส่ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจําต่อกิโลกรัม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สามารถลดการเกิดโรครากขาวของส่วนเหนือดินและ ส่วนรากได้เพิ่มขึ้นและสูงสุด ต้นยางพาราแสดงอาการเกิดโรครากขาวของส่วนเหนือดินและราก โดย พบการเข้าทำลาย 4.67 และ 7.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) โดยพบว่าต้นยางพาราแสดง ความผิดปกติที่ใบล่าง ปลายใบไหม้ ใบมีสีเขียว ในส่วนของราก รากฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้น และราก แขนงมีสีขาครีม (ภาพที่ 18 และ 19)

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 6 เดือน

Treatment		N	P	K	Ca	Mg
		(g kg <sup>-1</sup> )				
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	62.48 ± 6.36 b	1.69 ± 0.09 b	14.69 ± 0.36 b	8.77 ± 1.64 a	1.33 ± 0.34 b
	<i>B. subtilis</i>	60.21 ± 6.11 b	2.21 ± 0.08 a	16.30 ± 0.35 a	8.79 ± 1.07 a	1.66 ± 0.43 a
	<i>R. microporus</i>	58.01 ± 3.44 b	1.75 ± 0.25 b	17.05 ± 1.57 a	6.31 ± 2.15 a	1.58 ± 0.36 a
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	55.37 ± 6.01 c	1.98 ± 0.29 a	14.85 ± 1.12 b	8.40 ± 2.56 a	1.94 ± 0.42 a
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	40.16 ± 3.40 d	1.67 ± 0.35 b	11.66 ± 1.18 d	5.38 ± 0.93 b	1.41 ± 0.50 b
	<i>B. subtilis</i>	44.01 ± 6.47 d	1.76 ± 0.14 b	12.66 ± 0.85 c	5.31 ± 0.82 b	1.80 ± 0.23 a
	<i>R. microporus</i>	79.88 ± 8.08 a	1.67 ± 0.20 b	13.11 ± 0.64 c	4.76 ± 1.70 b	1.59 ± 0.46 a
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	60.41 ± 5.77 b	1.86 ± 0.23 a	12.84 ± 0.10 c	4.86 ± 0.62 b	2.04 ± 0.17 a
F-test		*	*	*	*	*
C.V. (%)		19.8	30.95	9.63	25.19	25.16

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน

Treatment		N	P	K	Ca	Mg
		(g kg <sup>-1</sup> )				
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	59.97 ± 0.30 b	2.04 ± 0.09 b	15.81 ± 0.86 b	7.47 ± 2.62 a	1.77 ± 0.16
	<i>B. subtilis</i>	65.17 ± 4.32 a	2.75 ± 0.18 a	17.35 ± 0.77 a	7.53 ± 0.43 a	1.85 ± 0.76
	<i>R. microporus</i>	59.46 ± 15.58 b	2.04 ± 0.27 b	14.70 ± 0.21 b	8.00 ± 2.33 a	1.95 ± 0.35
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	64.38 ± 6.92 a	2.42 ± 0.40 a	18.00 ± 0.47 a	5.99 ± 1.99 b	2.16 ± 0.62
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	42.33 ± 6.27 c	1.63 ± 0.31 c	13.45 ± 0.98 c	4.80 ± 0.53 b	1.56 ± 0.55
	<i>B. subtilis</i>	58.06 ± 10.19 b	2.23 ± 0.61 b	13.04 ± 0.56 c	5.58 ± 0.96 b	1.65 ± 0.39
	<i>R. microporus</i>	64.18 ± 9.09 a	2.07 ± 0.54 b	11.24 ± 0.14 d	4.81 ± 0.20 b	1.90 ± 0.53
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	58.34 ± 2.70 b	2.20 ± 0.27 b	12.44 ± 0.03 c	6.00 ± 0.46 b	1.48 ± 0.43
F-test		*	*	*	*	ns
C.V. (%)		13.16	17.44	9.17	25.75	26.86

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 20 การดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่อายุต้นยางพาราอายุ 6 เดือน

Treatment		ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางพาราส่วนเหนือดิน (mg plant <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	567.13 ± 151.81 c	15.23 ± 3.67 c	131.82 ± 24.89 b	76.90 ± 1.51 b	11.61 ± 1.04 c
	<i>B. subtilis</i>	685.07 ± 162.56 c	24.93 ± 2.99 b	184.25 ± 31.62 b	97.93 ± 7.13 a	18.90 ± 6.68 c
	<i>R. microporus</i>	546.00 ± 87.32 c	16.76 ± 2.87 c	161.06 ± 31.94 b	57.74 ± 12.50 c	15.01 ± 4.79 c
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	559.74 ± 56.89 c	20.38 ± 5.25 c	151.16 ± 23.44 b	84.28 ± 24.54 b	19.49 ± 3.68 c
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	628.49 ± 89.31 c	25.80 ± 3.60 b	182.18 ± 24.88 b	84.56 ± 19.60 b	21.72 ± 6.40 c
	<i>B. subtilis</i>	1020.00 ± 124.61 a	40.72 ± 1.30 a	293.73 ± 14.98 a	122.35 ± 6.38 a	42.11 ± 7.43 a
	<i>R. microporus</i>	983.11 ± 197.39 b	20.46 ± 3.04 c	161.01 ± 26.06 b	58.60 ± 21.91 c	20.00 ± 8.41 c
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	857.78 ± 73.03 b	26.92 ± 7.16 b	184.10 ± 29.62 b	69.39 ± 12.49 b	29.14 ± 5.21 b
F-test		*	*	*	*	*
C.V. (%)		24.07	36.13	17.98	21.69	28.88

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 21 การดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองที่ต้นยางพาราอายุ 9 เดือน

Treatment		ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางพาราส่วนเหนือดิน (mg plant <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	840.00 ± 40.24 c	28.51 ± 0.18 b	221.45 ± 16.33 b	105.51 ± 40.9 b	24.76 ± 2.61 b
	<i>B. subtilis</i>	1138.10 ± 136.41 b	35.71 ± 6.91 b	301.64 ± 5.10 a	131.35 ± 14.21 a	32.05 ± 12.95 a
	<i>R. microporus</i>	595.62 ± 134.85 d	24.37 ± 3.37 b	148.57 ± 9.37 d	82.02 ± 28.91 b	19.55 ± 2.13 b
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	746.52 ± 52.2 c	31.91 ± 2.03 b	210.16 ± 23.67 b	71.57 ± 31.80 c	25.25 ± 8.10 b
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	927.44 ± 121.03 b	35.79 ± 7.19 b	295.10 ± 16.39 a	105.56 ± 14.07 b	34.27 ± 12.06 a
	<i>B. subtilis</i>	1404.49 ± 264.56 a	54.12 ± 15.77 a	315.24 ± 20.45 a	134.61 ± 22.44 a	39.86 ± 9.51 a
	<i>R. microporus</i>	908.84 ± 225.27 b	29.63 ± 10.47 b	157.30 ± 16.68 d	67.45 ± 9.21 c	26.05 ± 4.16 a
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	934.87 ± 72.48 b	35.17 ± 2.76 b	200.13 ± 24.64 c	95.91 ± 4.31 b	24.26 ± 9.32 b
F-test		*	*	*	*	*
C.V. (%)		15.12	21.75	10.65	27.88	28.09

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เชื้อสาเหตุโรครากขาวของยางพาราที่อายุ 6 และ 9 เดือน

Treatment		Disease incidence (%) (6 month)		Disease reduction (%) (9 month)	
		aerial stem	root	aerial stem	root
Mg 0 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	0	0	0	0
	<i>B. subtilis</i>	0	0	0	0
	<i>R. microporus</i>	61.33 ± 3.21 a	67.67 ± 2.52 a	68.00 ± 2.65 a	32.67 ± 2.52 a
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	43.33 ± 1.53 b	54.67 ± 4.51 b	35.00 ± 4.36 b	23.00 ± 4.36 b
Mg 0.5 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Control	0	0	0	0
	<i>B. subtilis</i>	0	0	0	0
	<i>R. microporus</i>	17.67 ± 2.52 c	36.00 ± 3.61 c	9.33 ± 0.58 c	12.33 ± 2.52 c
	<i>B. subtilis</i> + <i>R. microporus</i>	11.33 ± 3.21 d	28.00 ± 2.65 d	4.67 ± 0.58 c	7.67 ± 2.52 d
F-test		*	*	*	*
C.V. (%)		10.30	9.90	6.63	10.30

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 4

### วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญของเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 และแบคทีเรีย *Bacillus* spp.

#### 1.1 ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6

ดินปลูกยางพาราภาคใต้ในประเทศไทยมีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.18 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ต่ำกว่าระดับเหมาะสมและความต้องการของยางพาราที่ต้องการแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 0.30 ประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556) จึงทำให้เกิดปัญหาด้านยางพาราขาดแมกนีเซียมส่งผลต่อสุขภาพของต้นยางพาราทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรครากขาว (White root rot disease) สาเหตุจากเชื้อรา *Rigidoporus microporus* เป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ในดิน ซึ่งธาตุอาหารในดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา โดยเมื่อมีการเพิ่มแมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจุต่อลิตร เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้ดี (ภาพที่ 4B) โดยลักษณะเส้นใยเชื้อราไม่แตกต่างกับการไม่เพิ่มแมกนีเซียม (ภาพที่ 4A) สอดคล้องกับเชื้อรา *Aspergillus niger*, *Candida albicans* และ *Cryptococcus neoformans* ที่เจริญเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต (Najwa, 2013) เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นแหล่งเกลือแร่ของจุลินทรีย์ซึ่งมีความสำคัญมากในกระบวนการชีวเคมี เป็นตัวควบคุมโปรตีน ควบคุมความคงตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ (Demishtein *et al.*, 2019) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแมกนีเซียมที่ระดับ 0.3-0.5 เซนติโมลประจุต่อลิตร ทำให้เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 มีลักษณะผิดปกติเส้นใยมีลักษณะหยาบ ขนาดไม่สม่ำเสมอ โป่งพอง และเกิดช่องว่างภายในเซลล์ (ภาพที่ 5C และ 5D) เช่นเดียวกับกับเชื้อรา *Arbuscular mycorrhiza* ที่สามารถเจริญได้ดีเมื่อใช้แมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 มิลลิโมลาร์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแมกนีเซียมที่ระดับ 2.0 มิลลิโมลาร์ การเจริญของเชื้อราลดลง (Zhang *et al.*, 2015) ความเข้มข้นของแมกนีเซียมมีผลต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา เมื่อมีปริมาณแมกนีเซียมที่มากหรือน้อยเกินไปเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Rosenstock *et al.*, 2016)

#### 1.2 ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญของแบคทีเรีย *Bacillus* spp.

แบคทีเรียต้องการน้ำ อาหาร แร่ธาตุ วิตามิน กรดอะมิโน และสารประกอบเชิงซ้อนบางอย่าง สำหรับการเจริญเติบโต ซึ่งแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารหลายชนิด เช่น potato dextrose agar (PDA) และ nutrient agar (NA) ดังนั้นเมื่อมีการใช้แมกนีเซียมในรูปของ

คีเซอไรต์ ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ผสมกับอาหาร PDA แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 สามารถเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างกัน คือ  $7.47-10.65 \times 10^{11}$ ,  $5.37-6.25 \times 10^{11}$  และ  $6.35-7.00 \times 10^{11}$  cfu/ml ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีแมกนีเซียม (ตารางภาคผนวกที่ 2) โดยแมกนีเซียมเป็นแหล่งเกลือแร่ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี เป็นองค์ประกอบของเซลล์ และเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งเป็นตัวกระตุ้นที่จำเป็นต่อเอนไซม์ โดยเอนไซม์เหล่านี้สำคัญต่อการใช้พลังงานในรูป ATP ในกระบวนการใช้พลังงานที่สำคัญ เช่น การเคลื่อนย้ายสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์, การสังเคราะห์โปรตีน และกรดนิวคลีอิก (Harvey *et al.*, 1974) โดยแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สามารถเจริญเติบโตได้ดี และมีการสร้างเอนโดสปอร์มากขึ้นเมื่อเพิ่มแมกนีเซียมคลอไรด์ 25 มิลลิโมล (Catherine *et al.*, 2014) นอกจากนี้การเติมแมกนีเซียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมคลอไรด์ 1 กรัมต่อลิตร ในอาหาร *Bacillus cirula* MT-G2 มีการสร้างเอนโดสปอร์และผลิตเอนไซม์เดกซ์แทรนเนสเพิ่มขึ้น (สุเทพ, 2533) เช่นเดียวกับกับ *Bacillus halodurans* สามารถเจริญเติบโตได้และมีการสร้างเอนโดสปอร์มากขึ้นเมื่อเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 กรัม ในอาหาร (Balachandranab *et al.*, 2021) และยังพบว่าการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของแบคทีเรีย *Bacillus licheniformis* YNP5-TSU สูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 0.4 มิลลิโมล ในอาหาร (Hair *et al.*, 2019)

## 2. ผลการคัดเลือกแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียม

แบคทีเรีย *Bacillus* spp. มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชได้หลายชนิด เช่น เชื้อรา *Fusarium oxysporum* สาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศและแตงกวา (Ei *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2014) เชื้อรา *Rhizoctonia solani* โรคกาบใบแห้งของข้าว และโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง (Wiwattanapatapee *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2020) เช่นเดียวกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 สามารถยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งเป็นสาเหตุโรครากเน่าของยางพาราได้ดี ทั้งในอาหาร PDA ไม่ผสมแมกนีเซียมและอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม โดยแบคทีเรีย *Bacillus* spp. สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งทำให้เส้นใยเชื้อรา ไม่สามารถเจริญผ่านไปได้และเกิดบริเวณยับยั้งที่กว้าง (ภาพที่ 7) อาจเนื่องจากแบคทีเรีย *Bacillus* spp. มีกลไกการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราด้วยการผลิตสารปฏิชีวนะและเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น Iturin, Chitinase, Cellulase,  $\beta$ -glucanase และ Amylase ออกมา (Zho *et al.*, 2020) และย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อรา ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเชื้อราที่เจริญร่วมกับแบคทีเรียมีลักษณะผิดปกติ บิดเบี้ยว และโป่งพอง เมื่อตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา (ภาพที่ 8)

(อุบลวรรณ และอัจฉรา, 2564; ศุภรัตน์ และคณะ, 2564) ทั้งนี้ในอาหารที่มีแมกนีเซียม การยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 โดยแบคทีเรีย *Bacillus* spp. เพิ่มขึ้น 5.00-15.42 เปอร์เซ็นต์ ตามความเข้มข้นของแมกนีเซียม โดย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงสุด 72.92 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุ่มต่อลิตร (ภาพที่ 6)

### 3. ประสิทธิภาพของสารปฏิชีวนะแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียม

#### 3.1 วิธี volatile extracellular metabolite test

แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถปลดปล่อยสารระเหยออกมายับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดีทั้งในอาหาร PDA และอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม ทำให้เส้นใยเชื้อราที่มีลักษณะบาง ปลายเส้นใยมีการอัดตัวกันแน่น และเจริญได้น้อย (ภาพที่ 9) ซึ่งเป็นไปได้ว่าแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ผลิตและปลดปล่อยสารระเหย (volatile substances) ออกมาหลายชนิด เช่น hydrocarbons, ketones, alcohols, terpenes, สารประกอบที่มี sulfur and nitrogen เป็นหลัก และสารอื่นๆ (Schulz and Dickschat, 2007; Lemfack *et al.*, 2018) และสารระเหยบางชนิดมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา เช่น การศึกษาของ Zhang และคณะ (2020) *Bacillus subtilis* ZD01 ผลิตสารระเหยยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Alternaria solani* ทำให้เกิดความผิดปกติทางลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยและยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา และยังพบว่าสารระเหยของแบคทีเรีย *B. subtilis* สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides*, *Penicillium expansum*, *Monilinia fructicola*, *Alternaria alternate*, *Curvularia lunata* ได้ดี (Gao *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2020) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถปลดปล่อยสารระเหยออกมาควบคุมเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สาเหตุโรครากขาวของยางพาราได้แม้อยู่ในระยะไกล ซึ่งเป็นข้อดีของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ที่ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคโดยตรงก็สามารถผลิตและสร้างสารระเหยแพร่กระจายไปทางดิน ทำให้การควบคุมโรครากขาวมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

#### 3.2 วิธี agar well diffusion และวิธี poisoned food

ประสิทธิภาพของสารปฏิชีวนะแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ต่อการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 โดยวิธีการ agar well diffusion เป็นวิธีที่เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราแก่งแย่งพื้นที่ในการเจริญ ซึ่งแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถสร้างสารปฏิชีวนะออกมายับยั้ง *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 51.66-66.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) แต่ในขณะที่วิธี poisoned food เป็นวิธีที่แบคทีเรียมีการปลดปล่อยสารปฏิชีวนะออกมาสัมผัสกับเชื้อราโดยตรง จึงทำ

ให้การทดสอบโดยวิธี poisoned food ให้ผลยับยั้งที่สูงกว่า โดยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถสร้างสารปฏิชีวนะออกมายับยั้ง *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 61.11-95.00 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 11) แต่ในขณะเดียวกันสารปฏิชีวนะของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ที่ผ่านความร้อน 121 องศาเซลเซียส ยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดี ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 แม้อยู่ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็ยังสามารถอาศัยหรือเจริญต่อไปได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Rotniam และคณะ (2008) สารปฏิชีวนะที่ไม่หนึ่งและหนึ่งของ *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-1 ที่สามารถยับยั้งเชื้อรา *Alternaria* spp. สาเหตุโรคใบจุดในผักสลัดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า *B. firmus* สามารถยับยั้งเชื้อรา *Rhizoctonia solani* สาเหตุโรคใบไหม้ของถั่วหรั่ง (อมรรัตน์, 2547; Pengnoo et al., 2006) และการศึกษาของศุภรัตน์ (2564) *B. subtilis* ไอโซเลท SM1, ไอโซเลท LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* ไอโซเลท PT7 ยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สาเหตุโรครากขาวของยางพาราได้

นอกจากนี้แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ยังมีกลไกการยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคด้วยการสร้างสารปฏิชีวนะ เช่น iturin, bacillomycin, fengycin, surfactin และ bacilysin, (Rabbee et al., 2019; Khedherab et al., 2021) และเอนไซม์ เช่น  $\beta$ -1,3-glucanase, cellulose, protease และ chitinase (Jongjeen and Aoki, 2010; Singh et al., 2008) ออกมาทำให้เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 มีขนาดของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ บริเวณปลายเส้นใยมีการอัดตัวกันแน่น และไม่สามารถเจริญต่อไปได้ (ภาพที่ 10 และ 12) สอดคล้องกับการศึกษาของ Abdelmoteleb และคณะ (2017) แบคทีเรีย *B. subtilis* ที่ทำให้เส้นใยเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides*, *Alternaria alternata*, *Macrophomina* sp., *Botrytis cinerea* และ *Sclerotium rolfsii* เส้นใยบิดเบี้ยว และมีขนาดเล็ก ยังพบว่า *B. subtilis* ไอโซเลท SM1 ทำให้เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* มีลักษณะบิดเบี้ยว ผิดรูป และกุดตัว (ศุภรัตน์, 2564)

#### 4. ประสิทธิภาพของ *Bacillus* sp. ร่วมกับแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ในดินและชิ้นส่วนพืช

เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งเป็นสาเหตุโรครากขาวของยางพาราเป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ในดิน เส้นใยของเชื้อราเจริญเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของราก โดยไรโซมอฟแทงเข้าทำลายเนื้อไม้ ซึ่งเกิดขึ้นร่วมกันระหว่างวิถีกลและปฏิกิริยาของเอนไซม์ และผลิตเอนไซม์ย่อยส่วนประกอบของผนังเซลล์ เช่น cellulose, hemicelluloses และ lignin (Nandris et al., 1987) ดังนั้นจึงได้จำลองให้สภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับดินในพื้นที่ดินปลูกยางพารา โดยทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในการควบคุมเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในดินผสม โดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในดินผสมใช้เวลา 10 วัน ในการเจริญเต็ม

ความสูงของดิน (100 เปอร์เซ็นต์) ในขณะเป็นเวลา 10 วัน การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 โดยสามารถวัดการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้ 4.44 เซนติเมตร และการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับดินผสมที่เพิ่มแมกนีเซียม สามารถลดการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถวัดได้ 2.24-3.50 เซนติเมตร (ตารางที่ 6) ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถเข้าครอบครองพื้นที่ได้ก่อน และสร้างสารปฏิชีวนะและเอนไซม์ออกมาดังที่กล่าวข้างต้น ทำให้เชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 หยุดการเจริญเติบโต (ภาพที่ 13) สอดคล้องกับการศึกษาของ ศุภรัตน์ (2564) การราดเซลล์ *B. subtilis* ไอโซเลท SM1 ทำให้เชื้อรา *R. microsporus* สามารถเจริญได้เพียง 19.00-43.50 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงดินผสม และแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในดินผสมเพิ่มไนโตรเจน แมกนีสิส และไนโตรเจนร่วมกับแมกนีสิส สามารถวัดการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 0.69 เซนติเมตร ของความสูงดินผสม (อุบลวรรณ, 2564)

ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในการควบคุม *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 บนชิ้นส่วนพืชร่วมกับอาหาร PDA ผสมแมกนีเซียม พบว่าเส้นใยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญขึ้นมาปกคลุมท่อนยางพาราได้ในทุกกรรมวิธีทดสอบ เนื่องจากเส้นใยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 มีการเจริญอยู่บนผิวหน้าอาหารก่อนนำมาทดสอบ ประกอบกับเชื้อราสาเหตุโรคมืออาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญทำให้สามารถเจริญปกคลุมท่อนยาง และสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยเซลล์ผิวเปลือกยาง เปลือกเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อสัมผัสด้วยมือมีลักษณะนุ่มและยุ่ย (Oghenekaro *et al.*, 2015) จากนั้น hyphae จะเจาะเข้าสู่เซลล์และแพร่กระจายเป็นวงกว้าง เมื่อตรวจสอบเนื้อไม้พบเส้นใยเชื้อราภายในเซลล์ (ภาพที่ 14) (Schwarz, 2007) จากการทดสอบทั้ง 2 วิธี แสดงให้เห็นว่าการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในการควบคุม *R. microsporus* สาเหตุโรครากขาวของยางพาราควรมีการใช้ซ้ำ เพื่อควบคุมเชื้อรา *R. microsporus* ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

##### 5. แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา *Rigidoporus microsporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตของรากยางพารา

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญสำหรับพืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่เป็นส่วนสีเขียวในส่วนต่าง ๆ ของพืช ช่วยให้พืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี มีการเจริญเติบโตและพัฒนาการเป็นไปตามปกติ (ยงยุทธ, 2558) การเจริญของรากยางพาราที่อายุ 14 และ 28 วัน ที่ได้รับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม ทำให้รากของยางพาราเจริญได้ดี พบความยาวรากและปริมาณรากฝอยที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากยางพาราเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนุชนารถ และคณะ (2556) ต้นยางพาราต้องการแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า

0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม สำหรับการเจริญเติบโต การใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ในดินปลูกยางพาราที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (0.30 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม) ทำให้ต้นยางพาราเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ธนพันธ์, 2560)

ขณะเดียวกันเมล็ดยางพาราที่แช่ด้วยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีการเจริญของรากแก้วและรากฝอยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปได้ว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีการผลิตกรดอินโดลอะซีติก (indole-3-acetic acid) IAA (Laskar and Sharma, 2013) หรือฮอร์โมนกลุ่มออกซิน มีบทบาทสำคัญในการงอกของเมล็ด (Slavov *et al.*, 2004) ช่วยในการแบ่งเซลล์และการยืดยาวของรากแก้ว (Hu *et al.*, 2021) และกระตุ้นการเจริญของรากและกระตุ้นให้เกิดการแตกแขนงของราก ทำให้พบปริมาณรากฝอยที่หนาแน่น (Kudoyarova *et al.*, 2019 ; San-Francisco *et al.*, 2005) (ภาพที่ 15) จึงส่งผลให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากยางพาราเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใช้แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 (ตารางที่ 7) เช่นเดียวกับการใช้แบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* ALB629 และแมกนีเซียมทำให้ต้นถั่วมีการเจริญเติบโตดี น้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้น (Samuel *et al.*, 2015) การใช้ *B. subtilis* TU-Orga1 ช่วยให้ฝักกาดฮ่องเต้มีความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น (กฤติเดช และดุสิต, 2559) ยังพบว่า *B. subtilis* ยังช่วยให้ต้นกล้าข้าวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ที่ปลูกในสภาวะดินเค็ม มีความยาวรากและความสูงของต้นเพิ่มขึ้น (อนุเทพ, 2558) จากการศึกษาของพันธุ์ทิพย์ (2564) *B. subtilis* SM1 ช่วยส่งเสริมการเจริญของรากยางพารา มีความยาวของรากและพบปริมาณรากฝอยที่เพิ่มขึ้น และนริศรา และคณะ (2560) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับ *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ มีผลทำให้ความสูง ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นกล้ามะเขือเทศเพิ่มขึ้น

ขณะที่การเจริญของรากยางพาราที่แช่เมล็ดยางพาราด้วยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่อายุ 14 และ 28 วัน มีการเจริญของรากยางพารารากแก้วและรากฝอยยาวลดลง (ภาพที่ 15) เนื่องจากเชื้อรา *R. microporus* เข้าทำลายระบบรากของยางพาราทำให้การทำงานของเซลล์รากเสียหาย ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลง (ปวีณา และคณะ, 2555) และลดลงน้อยที่สุดที่การใช้แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 7) และพบว่าการเจริญของรากยางพาราที่แช่เมล็ดยางพาราด้วยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ที่อายุ 14 และ 28 วัน การเจริญของรากแก้ว และรากฝอยมีความยาวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเจริญของรากยางพาราที่แช่เมล็ดยางพาราด้วยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 15) ซึ่งเป็นไปได้ว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีการยับยั้งหรือลดการแพร่กระจายของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ด้วยการสร้างสารปฏิชีวนะและเอนไซม์ต่างๆ

เช่น bacillomycin, iturin, chitinase, cellulase, subtilin,  $\beta$ -glucanase, amylase mycosubtilin, fengymycin, oxydiffidin และ mycobacillin (Chen *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2008) และ *B. subtilis* หลายชนิดมีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth promoting rhizobacteria) เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว อ้อย และพริก (Babalola *et al.*, 2021; Kumari *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2022; Gowtham *et al.*, 2018)

## 6. แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 แมกนีเซียมและเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 ต่อการเจริญเติบโตต้นยางพารา

การจัดการธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของยางพารา เมื่อปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากน้อยที่สุด (ตารางที่ 8 และ 9) ส่งผลให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพารา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง (ตารางที่ 10 และ 11) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นยางพาราที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งเป็นระยะเวลา 2 เดือน ที่เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เข้าทำลายต้นยางพารา ส่งผลให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพารา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นยางพาราที่ไม่ได้ใส่เชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 (Shabbir *et al.*, 2021; อุบลวรรณ, 2564) เมื่อปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 12, 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ส่งผลให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 8 และ 9) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นยางพาราที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีแนวโน้มการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนรากเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 8 และ 9) ส่งผลให้ความเข้มข้นของใบยางพารา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (นุชนารถ และคณะ, 2556) และการปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีแนวโน้มความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมของใบยางพาราเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับต้นยางพาราที่ไม่ได้ใส่แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 (ตารางที่ 10) ซึ่งสังเกตได้จากการดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพารา ส่งผลต่อการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนราก ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบของการเจริญของรากยางพาราที่อาจเป็นไปได้ว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีการผลิตกรดอินโดลอะซีติก (indole-3-acetic acid) IAA หรือฮอร์โมนกลุ่มออกซิน มีบทบาทสำคัญในการงอกของเมล็ด ช่วยในการแบ่งเซลล์และ



การยืดยาวของราก เมื่อรากมีขนาดใหญ่และปริมาณพื้นผิวโดยรวมของรากที่เพิ่มขึ้นสามารถดูดใช้ธาตุอาหารและเข้าถึงแหล่งอาหารได้เพิ่มขึ้น ทำให้พืชเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้น (Bucio *et al.*, 2003) เช่นเดียวกับ *B. subtilis* สามารถผลิต IAA ส่งผลให้ต้นหญ้าไข่มุกมีการสะสมหนักแห้งส่วนเหนือดินและรากเพิ่มขึ้น รวมถึงการสะสมธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น (Ribeiro *et al.*, 2018) และการใช้ *B. subtilis* JW1 สามารถผลิต gibberellins ส่งผลให้ต้นผักกาดขาวมีความสูงของต้น ความยาวของราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น รวมถึงการสะสมธาตุอาหารในต้นได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น (Kang *et al.*, 2019) และ *Bacillus subtilis* SYST2 สามารถผลิตสารอินทรีย์ระเหยง่าย albuterol และ 1,3-propanediol ออกมากระตุ้นการทำงานของออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เอ็กส์แพนซิน และเอทิลีน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ (Tahir *et al.*, 2017)

เมื่อวิเคราะห์ดินหลังการทดสอบที่ 6 เดือน และ 9 เดือน ทุกกรรมวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจากดินก่อนทดสอบ โดยการใส่แมกนีเซียมในดินทำให้ดินมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเป็น 0.27-0.40 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสม (>0.30 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม) (ตารางที่ 14 และ 15) (นุชนารถ และคณะ, 2556) ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ย 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม ทำให้ต้นยางพาราอายุ 6 และ 9 เดือน มีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และแคลเซียมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 18 และ 19) แต่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสของใบยางพาราอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงเอาไว้โดยแมงกานีส เหล็ก และอะลูมิเนียม ทำให้ต้นยางพาราดูดใช้ได้น้อย (นุชนารถ, 2554) ) เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ย 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกิโลกรัม โดยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 เข้าทำลายต้นยางพาราเป็นระยะเวลา 3 และ 6 เดือน (ที่อายุต้นยางพารา 6 และ 9 เดือน) ทำให้ต้นยางพาราดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 18 และ 19) แต่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมของใบ ยางพารามีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้ายางพาราที่ไม่ได้รับใส่เชื้อรา *R. microsporus* (ตารางที่ 18 และ 19) แต่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมของใบยางพาราอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบกับการใส่ปุ๋ย 15-15-15 ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 (ตารางที่ 14 และ 15) ส่งผลให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารของใบยางพารา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 18 และ 19) โดยเฉพาะความเข้มข้นของฟอสฟอรัสของใบยางพาราเพิ่มสูงขึ้น และพบปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่เหลืออยู่สูงแสดงว่าแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีความสามารถในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากดิน ทำให้เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน เมื่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นยางพาราก็

สามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์หลายชนิดมาเพิ่มการเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในรูปแบบต่าง ๆ เช่น *Bacillus* spp. ไอโซเลท 141F1 สามารถละลายอะลูมิเนียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต และไพเทต (ชนบพร และอัจฉรา, 2558; Kongbrailatpam and Putatunda, 2018) ยังพบว่า *Bacillus subtilis* สามารถละลายฟอสเฟตในรูปเฟอร์ริกฟอสเฟต ( $\text{FePO}_4$ ) และอะลูมิเนียมฟอสเฟต ( $\text{AlPO}_4$ ) (Borah *et al.*, 2017)

## 7. ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการแมกนีเซียมต่อการยับยั้งเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ในเรือนทดลอง

โรครากขาว (White root rot disease) สาเหตุจากเชื้อรา *Rigidoporus microsporus* ที่อาศัยอยู่ในดิน เชื้อราจะเข้าทำลายระบบรากของต้นยางพารา (Nandris *et al.*, 1987) ซึ่งระดับความรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับความแข็งแรงตามธรรมชาติของต้นยางพารา พันธุ์ต้นทาน สภาพภูมิอากาศ และการจัดการสวนยางของเกษตรกรที่เป็นปัจจัยในการส่งเสริมหรือจำกัดโรค เมื่อปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบการเข้าทำลายของโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 สูงสุด โดยเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดินและรากของยางพารา 67.67 และ 84.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ซึ่งเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 เข้าทำลายรากได้มากกว่าส่วนเหนือดิน ซึ่งเชื้อรา *R. microsporus* สร้างไรโซมอร์ฟ (rhizomorph) เจริญอยู่บนผิวรากภายนอก และสามารถผลิตเอนไซม์ glycosidase polysaccharidases หรือ phenol oxidase ออกมาย่อยผนังเซลล์ของราก สังเกตได้จากความหนาแน่นของรากฝอยลดลง มีสีน้ำตาลเข้มดำ เปื่อยยุ่ย และรากแก้วมีสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 17) (Nandris *et al.*, 1987) เมื่อระบบรากเสียหายส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดน้ำและธาตุอาหารของยางพารา ทำให้บริเวณส่วนเหนือดินของต้นยางพาราแสดงอาการใบเหลืองทั้งต้น และปลายใบไหม้ที่ใบล่าง (ภาพที่ 16) (สถาบันวิจัยยาง, 2554) ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอและสมดุล ทำให้พืชแข็งแรงและลดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Snoeijers *et al.*, 2000; Walters and Bingham, 2007 ;Reddy *et al.*, 2017) เมื่อปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากจากเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดินและรากของต้นยางพารา 54.33 และ 56.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) สังเกตได้จากปริมาณรากฝอยที่มีความหนาแน่นขึ้น และมีสีน้ำตาลถึงดำบริเวณปลายรากลดลง (ภาพที่ 17) และส่วนเหนือดินของต้นยางพาราแสดงความผิดปกติที่ใบล่างมีสีเหลือง และปลายใบไหม้ (ภาพที่ 16) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nur และคณะ (2016) เมื่อต้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับแมกนีเซียมสูงกว่า 0.25 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม ลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ganoderma* spp. โรคลำต้นเน่าในปาล์ม

น้ำมัน (Nur *et al.*, 2016) และมีรายงานว่าต้นข้าวที่ได้รับแมกนีเซียม 0.02 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม พบการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว แต่เมื่อต้นข้าวได้รับแมกนีเซียมเพิ่มเป็น 0.40 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม พบการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคที่ลดลง (Wiler *et al.*, 2015)

ขณะที่ปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวส่วนเหนือดินและรากของยางพารา โดยพบการเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดินและรากของยางพารา 48.00 และ 64.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ไม่ได้รับเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 (ตารางที่ 12) สังเกตเห็นว่าปริมาณรากฝอยเพิ่มขึ้น และมีรากงอกใหม่ (ภาพที่ 17) ส่วนใบยางพาราปลายใบไหม้ (ภาพที่ 16) แต่อย่างไรก็ตามการปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวส่วนเหนือดินและรากของยางพารา โดยพบการเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดินและรากของยางพารา 29.67 และ 32.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) เมื่อสังเกตรากของต้นยางพารามีปริมาณรากฝอยเพิ่มขึ้น และมีรากฝอยเริ่มงอกใหม่ (ภาพที่ 17) ส่วนใบยางพาราปลายใบเริ่มมีรอยไหม้ (ภาพที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อลิตร ทำให้เส้นใยเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 หยุดการเจริญเติบโตที่ 10 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดสอบที่มีแมกนีเซียม 0.1 เซนติโมลประจูดต่อลิตร ซึ่งเห็นได้ว่าการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมสามารถควบคุมเชื้อรา *R. microsporus* สายพันธุ์ NK6 ในต้นยางพาราได้ 32.33-71.33 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืช สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ เช่นเดียวกับการใช้ *B. amyloliquifaciens* สายพันธุ์ ALB629 ร่วมกับแมกนีเซียม สามารถยับยั้ง *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* สาเหตุโรคเหี่ยวของถั่วเหลืองได้เพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ ต้นถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้น (Samuel *et al.*, 2015) ยังพบว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ LC425129.1 ร่วมกับสังกะสีสามารถยับยั้ง *Alternaria solani* สาเหตุโรคใบไหม้ของมะเขือเทศได้เพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ (Zoia and Amna, 2019) การใช้ *B. subtilis* ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (11-48-0) สามารถยับยั้ง *R. solani* สาเหตุโรคโคนเน่าของมะเขือเทศได้เพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (นริศรา และคณะ, 2560) นอกจากนี้การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและปุ๋ยสูตร 20-8-20

สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของเหนือดินและรากใต้ 42-100 เปอร์เซ็นต์ (อุบลวรรณ, 2564)

พื้นที่ปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทยเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเข้าทำลายของโรครากขาวเป็นส่วนใหญ่ การเข้าทำลายของเชื้อรา *R. microporus* ส่งผลให้ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ปลายใบไหม้ และระบบรากถูกทำลาย (อารมณ และคณะ, 2552) ซึ่งปัจจัยการเกิดและความรุนแรงของการเข้าทำลายของโรครากขาวในต้นยางพารา ได้แก่ เชื้อสาเหตุ พืชอาศัย เวลา และสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะดิน ซึ่งดินของภาคใต้ในประเทศไทยเป็นดินที่มีพัฒนาการสูงทำให้มีการสูญเสียธาตุอาหารได้ง่ายโดยเฉพาะแมกนีเซียม โดยพบว่าดินที่ใช้ในการทดสอบมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ (0.15 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินปลูกยางพารา (นุชนารถ, 2554) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นยางพารา รวมถึงทำให้ต้นยางพาราอ่อนแอและเชื้อสาเหตุโรคเข้าทำลายได้ง่าย (ภรภัทร, 2563) ดังนั้นได้ทดสอบการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 5 กรัม/ต้น/เดือน ตลอดระยะเวลาการทดสอบที่อายุ 6 และ 9 เดือนของต้นยางพารา ซึ่งทำให้ไนโตรเจนในดินต่ำ (0.21 กรัมต่อกิโลกรัม และ 0.47 กรัมต่อกิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (0.14 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม และ 0.15 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม) การเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเข้าทำลายส่วนเหนือดินได้ 61.33 เปอร์เซ็นต์ และ 68.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และส่วนรากของยางพาราได้ 67.67 เปอร์เซ็นต์ และ 32.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ซึ่งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 มีกลไกการเข้าทำลาย โดยการสร้าง rhizomorphs เจริญปกคลุมภายนอกบนผิวรากของต้นยางพารา ผลิตเอนไซม์ glycosidase polysaccharidases หรือ phenol oxidase ออกมาย่อยผนังเซลล์ของราก และเปลี่ยนรูปร่างเส้นใยเชื้อราที่มีผนังเซลล์บางขึ้น เพื่อเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช (infectious hyphae) เส้นใยเชื้อราเจริญอยู่ภายในเซลล์พืช ทำการย่อยผนังเซลล์ของระบบท่อลำเลียงอาหาร และแพร่กระจายสู่เซลล์อื่น ๆ ส่งผลให้การดูดใช้น้ำและธาตุอาหารของต้นยางพาราลดลง (Boudet *et al.*, 2003) ซึ่งสังเกตเห็นว่าลักษณะรากของต้นยางพารา รากฝอยน้อย รากแขนงนิ่มและเปื่อยยุ่ย และมีเส้นใยเชื้อราเกาะบริเวณราก (ภาพที่ 19) ในขณะที่ส่วนเหนือดินแสดงอาการเกิดโรคที่ใบล่าง ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ขอบใบไหม้ และมีการบิดเบี้ยวของใบ ส่วนใบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีลักษณะเรียวยาวเล็ก (ภาพที่ 18) ดังนั้นความรุนแรงของโรคพืชมีความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงสอดคล้องกับการปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ได้รับแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบการเข้าทำลายของโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 5 กรัม/ต้น/เดือน ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม ซึ่งทำให้ไนโตรเจนในดินต่ำ (0.45 กรัมต่อกิโลกรัม และ 0.51 กรัมต่อกิโลกรัม) และ

แมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม (0.30 เซนติโมลประจูดอกกีโลกรัม และ 0.28 เซนติโมลประจูดอกกีโลกรัม) สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ซึ่งเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดิน 17.67 เปอร์เซ็นต์ และ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และรากของต้นยางพารา 36.00 เปอร์เซ็นต์ และ 12.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) สังเกตได้จากราก รากแก้วมีสีขาวครีม รากแขนงมีสีน้ำตาล และรากฝอยมีสีดำ (ภาพที่ 19) ส่วนเหนือดินของต้นยางพารา ใบล่างมีสีเหลือง และปลายใบไหม้ (ภาพที่ 18) จะเห็นได้ว่าธาตุอาหารมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตหรือสร้างผลผลิตของพืชให้ดำเนินได้ไปตามปกติ โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Agrios (2005) ในสภาวะที่ได้รับไนโตรเจนต่ำมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้นของเชื้อสาเหตุโรค *Fusarium wilt*, *Alternaria early blight*, *Pseudomonas solanacearum wilt*, *Sclerotium rolfsii* และ *Pythium damping off* เช่นเดียวกับการศึกษาของ อุบลวรรณ (2564) ในสภาวะที่ในดินมีไนโตรเจนต่ำ 0.35 กรัมต่อกีโลกรัม โรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเข้าทำลายส่วนเหนือดินและรากของต้นยางพาราได้สูงถึง 76.50 และ 90.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจูดอกกีโลกรัม และใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงสุด ซึ่งเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดิน 11.33 เปอร์เซ็นต์ และ 4.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และรากของต้นยางพารา 28.00 เปอร์เซ็นต์ และ 7.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 22) สังเกตได้จากราก รากแก้วมีสีขาวครีม รากฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีรากที่งอกใหม่ (ภาพที่ 19) ส่วนเหนือดินของต้นยางพาราใบล่างปลายใบเริ่มไหม้ 10 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 18) ซึ่งสอดคล้องกับการปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวส่วนเหนือดินและรากของยางพารา โดยพบการเข้าทำลายต้นยางพาราส่วนเหนือดินและรากของยางพารา 29.67 และ 32.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียม สามารถควบคุมและลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในสภาพโรงเรือนที่ทดสอบในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ 15.33-70.03 เปอร์เซ็นต์ และในดินปลูกยางพารา 80.67-95.33 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของพืช สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ (Reddy et al., 2017)

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1. การเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจุนต่อลิตร เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้เต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ 7 วัน ในแต่ละระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมมีการเจริญของเส้นใยเชื้อราไม่แตกต่างกัน แต่ลักษณะสัณฐานวิทยาเส้นใยเชื้อราที่แตกต่างกัน โดยที่แมกนีเซียมที่ 0.1 เซนติโมลประจุนต่อลิตร เส้นใยเชื้อรามีความหนาแน่นน้อย และสามารถเจริญงอกยาวได้ปกติ แต่ในสภาวะมีแมกนีเซียม 0.3 และ 0.5 เซนติโมลประจุนต่อลิตร ทำให้เส้นใยเชื้อรา มีลักษณะผิดปกติ โป่งพอง เกิดช่องว่างภายในเซลล์ และมีขนาดไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะแมกนีเซียมที่ 0.5 เซนติโมลประจุนต่อลิตร เส้นใยเชื้อรามีขนาดเล็กและบาง เห็นได้อย่างชัดเจน

2. การเจริญของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1, *B. subtilis* สายพันธุ์ LPDD3-2 และ *B. amyloliquefaciens* สายพันธุ์ PT7 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจุนต่อลิตร แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทั้ง 3 สายพันธุ์ สามารถเจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมแมกนีเซียมทุกระดับความเข้มข้นได้อยู่ในช่วง  $5.40 \times 10^{11}$ - $10.65 \times 10^{11}$  cfu/ml โดย แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีปริมาณเชื้อสูงสุด  $7.30 \times 10^{11}$ - $10.65 \times 10^{11}$  cfu/ml

3. การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในอาหารผสมแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจุนต่อลิตร) โดยทดสอบวิธี dual culture technique แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทั้ง 3 สายพันธุ์ (SM1, LPDD3-2 และ PT7) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดี 56.00-72.29 เปอร์เซ็นต์ โดยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้ดีที่สุด 61.00-72.29 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้เส้นใยเชื้อรามีลักษณะผิดปกติ ขนาดไม่สม่ำเสมอ โป่งพองบริเวณปลายเส้นใยและกุดตัวลง จึงได้เลือกแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มาทดสอบในขั้นต่อไป

โดยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีการสร้างสารระเหยออกมายับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ 23.33- 68.90 ในวิธี volatile extracellular metabolite test โดยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในอาหารผสมแมกนีเซียมที่ระดับ 0.5 เซนติโมลประจุนต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงสุด 68.90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในวิธี agar well diffusion แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถสร้าง

สารปฏิชีวนะที่ทนและไม่ทนความร้อนออกมายับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อร่วมกับแมกนีเซียมที่มีความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร และเช่นเดียวกันกับวิธี poisoned food เซลล์ สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่มีความเข้มข้น 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงกว่า 84.44 เปอร์เซ็นต์

4. การยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 โดยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร) ในหลอดทดลอง ส่งผลให้การเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในดินผสมที่กรรมวิธีควบคุม สามารถเจริญได้เต็มหน้าผิวดินที่ความสูง 10 เซนติเมตร ในเวลา 10 วัน โดยดินผสมที่ใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้ 4.44 เซนติเมตร และในดินผสมที่ใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ระดับต่าง ๆ (0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร) เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 สามารถเจริญได้ 3.50, 3.00 และ 2.24 เซนติเมตร ดังนั้น การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้สูงสุด ซึ่งสามารถเจริญได้ 2.24 เซนติเมตร ทำให้เส้นใยเชื้อรามีการอัดตัว กันแน่น ไม่สามารถเจริญต่อไปได้

5. การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ (0, 0.10, 0.30 และ 0.50 เซนติโมลประจู่ต่อลิตร) ยับยั้งเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 บนท่อนยางพารา เส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 เจริญปกคลุมท่อนยางและการเข้าทำลายเซลล์ท่อนยางได้ในทุกกรรมวิธีทดสอบ เมื่อนำท่อนยางพาราตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา พบการเข้าทำลายของเส้นใยเชื้อรารายในเซลล์ท่อนยางในทุกกรรมวิธีทดสอบ

6. การเจริญของรากยางพาราที่แช่เมล็ดยางพาราด้วยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากยางพาราที่อายุ 14 และ 28 วัน ทำให้ความยาวรากและปริมาณรากฝอยที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากยางพาราเพิ่มขึ้น และสูงสุดที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะเดียวกันเมล็ดยางพาราที่แช่ด้วยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 การเจริญเติบโตของรากและปริมาณรากฝอยลดลง โดยเฉพาะในกรรมวิธีทดสอบที่ได้ไม่ใช้แมกนีเซียม แต่พบว่าเมล็ดยางพาราที่แช่ด้วยแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 และเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ ส่งผลให้รากมีการเจริญเติบโตของรากและปริมาณรากฝอยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

7. การปลูกต้นยางพาราในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีแมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของเนื้อดินและรากได้ 70.03 และ 67.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการใส่แมกนีเซียม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงเหนือดิน ราก และการสะสมธาตุอาหารในใบยางพารา ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้น

8. การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และการใช้แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจู่ต่อกิโลกรัม ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ที่ต้นยางพาราอายุ 6 และ 9 เดือน สามารถลดการเกิดโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ในส่วนของเนื้อดินที่อายุต้นยางพารา 6 และ 9 เดือน ได้ 88.67 และ 95.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนรากได้ 72.00 และ 92.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้แมกนีเซียมร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงเหนือดิน และปริมาณรากเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลื่ออยู่ในดินสูง

### ข้อเสนอแนะ

แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนทดลอง จึงควรศึกษาและพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบชีวภัณฑ์เพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้และยืดอายุการเก็บรักษา การใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นในการป้องกันและควบคุมโรครากขาวที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *R. microporus* เพราะความไม่สมดุลของธาตุอาหารมีผลต่อการเกิดโรคและความรุนแรงของโรครากขาว ดังนั้นจึงควรศึกษาผลของธาตุอาหารอื่น ๆ เพิ่มเติม



## เอกสารอ้างอิง

- กฤติเดช อนันต์ และดุสิต อธิณวัฒน์. 2559. ผลของการใช้ *Bacillus subtilis* สูตรผงและสูตรน้ำในการผลิตผักกาดฮ่องเต้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 24: 641-660.
- ชนบพร พงศ์พรหม และอัจฉรา เพ็งหนู. 2558. ผลของ *Bacillus* spp. ต่อการเจริญของไรโซเบียมและการละลายฟอสเฟต. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 32: 10-20.
- ดวงพร คันธโชติ. 2537. อนุกรมวิธานของเชื้อแบคทีเรียและปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์พรานนการพิมพ์.
- ชนพันธ์ พงษ์ไทย. 2560. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นพวรรณ นิลสุวรรณ และนริสา จันทร์เรือง. 2558. การคัดเลือกและผลิตผงเชื้อ *Trichoderma* spp. เพื่อควบคุมเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สาเหตุโรครากขาวของยางพารา. วารสารยางพารา 36: 20-25.
- นริศรา จำปา, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา และกนกกร สีนมา. 2560. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *Bacillus subtilis* ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 20: 90-101.
- นวลศรี กาญจนกุล, สุวรรณีย์ ภูธรราช และชนิษฐศรี อุ้นตระกูล. 2543. ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- นุชนารถ กังพิศดาร, มนัชญา รัตน์โชติ, ปุริตา เปรมกระสิน, ธมลวรรณ ชิวรัมย์, ลาวัณย์ จันอัมพร และอนันต์ ทองภู. 2556. การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับสวนยางพาราเฉพาะพื้นที่. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- นุชนารถ กังพิศดาร, ลิขิต นวลศรี, ยุบล ลิ้มจิตติ, ชำนาญ บุญเลิศ, วีรพงศ์ ตันภิรมย์ และไววิทย์ บุรณธรรม. 2537. การตอบสนองของยางหลังเปิดกรีดต่อปุ๋ย N P K และ Mg ในชุดดินคองหงส์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- นุชนารถ กังพิศดาร. 2548. การจัดการสวนยางบนพื้นที่ไม่เหมาะสม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- นุชนารถ กังพิศดาร. 2554. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

- ปฎิมาพร ปลอดภัย. 2551. การใช้เชื้อ *Bacillus* spp. ในการควบคุมโรคของพริกที่เกิดจากเชื้อราบางชนิดโดยชีววิธี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโรคพืชวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปราโมทย์ สุวรรณมงคล, สมเจตน์ ประทุมมินทร์ และประเทือง ดลกิจ. 2527. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา. วารสารยางพารา 5: 144-156.
- ปวีณา สังข์แก้ว, เสมอใจ ชื่นจิตต์ และ วสันต์ เพชรรัตน์. 2555. การคัดเลือกและเตรียมสูตรสำเร็จเชื้อ *Streptomyces griseus* subsp. *formicus* เพื่อควบคุมเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สาเหตุโรครากขาวของยางพารา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43: 21-24.
- พันธ์ทิพย์ จุลวรรณโณ. 2564. ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* สำหรับควบคุม *Rigidoporus microporus* เชื้อสาเหตุโรครากขาว และส่งเสริมการเจริญเติบโตของยางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ภัทรา กิณเรศ. 2551. การใช้ประโยชน์จากเชื้อพันธุกรรมยางบราซิล. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8 กรมวิชาการเกษตร.
- ภรภัทร สุชาติกุล. 2563. สถานะความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกยางในภาคใต้. วารสารยางพารา. 41(2): 13-21.
- ภัทรานิษฐ์ คงมาก, ขวัญตา ขาวมี และจำเป็น อ่อนทอง. 2560. สถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 4 : 66-72.
- ภูวดล วิริยะพันธ์. 2549. การปลูกยางพารา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊คส์.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. 2547. พืชศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วสันต์ เพชรรัตน์. 2536. การผลิตเห็ด. สงขลา: ภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วานิด รอดเนียม. 2552. การคัดเลือกและเตรียมสูตรสำเร็จ *Bacillus subtilis* เพื่อควบคุมโรคใบจุดที่เกิดจาก *Alternaria longipes* ในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วาริน อินทนา, อรรถกร พรหมวีและปณณวิชญ์ เย็นจิตต์. 2561. เพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมโรคใบขีดสีน้ำตาลข้าวด้วยการใช้ *Trichoderma asperellum* NST-009 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* NST-002. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49(2): 147-149.

- วรรณธิดา เบญจกุล, พรชุลี นิลวิเศษ และสุนันท์ สีสั่งข์. 2556. การผลิตยางพาราและความต้องการ การส่งเสริมการเกษตรของเกษตรกรในอำเภอปะเหลียนจังหวัดตรัง. การประชุมวิชาการ แห่งชาติ ครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 6-7 ธันวาคม 2556 หน้า 2870-2877.
- หทัยกานต์ นวลแก้ว, จักรกฤษณ์ พูนภักดี, จุฑามาศ แก้วมโน และจำป็น อ่อนทอง. 2556. การใช้ปุ๋ย และแนวทางการจัดการดินปลูกยางพาราในที่ลุ่มและที่ดอนในจังหวัดสงขลา. สาร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 8(2): 146-159.
- ศุภรัตน์ สังข์ทอง. 2564. แบคทีเรียปฏิปักษ์เพื่อควบคุมโรครากขาวของยางพารา (*Hevea brasiliensis*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศุภรัตน์ สังข์ทอง, อัจฉรา เพ็งหนู และภวิกา บุญยพิพัฒน์. 2564. ประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *Bacillus spp.* ในการควบคุมเชื้อราในดิน *Rigidoporus microporus* ภายใต้สภาพควบคุม. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 8(1): 34-43.
- สถาบันวิจัยยาง. 2541. ศึกษาระดับปุ๋ย N P K และ Mg ที่เหมาะสมกับยางอ่อนในดินร่วนเหนียวใน สวนยางปลูกแทนรอบสอง. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยยาง. 2554. การปลูกยางพาราในพื้นที่ปลูกยางใหม่. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยยาง. 2556 . การจัดการสวนยางที่ยั่งยืน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- สายใจ สุชาติกุล, สมศักดิ์ มณีพงศ์ และมนตรี อิศรไกรศิลป์. 2550. การใช้ปุ๋ยและการเติบโตของยาง ก่อนเปิดกรีดในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช. วารสารดินและปุ๋ย 32(3): 180-197.
- สายใจ สุชาติกุล. 2554. การจัดทำค่ามาตรฐานเพื่อการวินิจฉัยสถานะธาตุอาหารในดินและใบสำหรับ ยางพาราก่อนเปิดกรีด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- สายทอง แก้วฉาย. 2556. ศึกษารูปแบบการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ในการป้องกันกำจัดโรครากขาวของ ยางพารา. รายงานงานวิจัยทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. ข้อมูลการผลิตยางพารา ปี 2564. กรุงเทพมหานคร: สำนักงาน เศรษฐกิจการเกษตร.
- สุนทรียังษ์ชวัล และจินตนา บางจัน. 2549. ปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นยางพาราพันธุ์ RIMM 600. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37(4): 353-364.

- สุนีรัตน์ วัฒนาศิลากรรม, สายันท์ สดุดี, เสมอใจ ชื่นจิตต์ และจรัสศรี นวลศรี. 2554. การทดสอบเบื้องต้นความทนทานโรครากขาวของต้นกล้วยางพาราพันธุ์ดั้งเดิม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 3/1 (ฉบับพิเศษ) : 311-314.
- สุเทพ ธนียวัน. 2533. การศึกษาแบคทีเรียหนเค็มที่สามารถสร้างเอนไซม์เดกซ์แทรนเนสและการศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์ทางชีวเคมี. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สิทธิชัย บุญมณี. 2556. การเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยตามค่าทดสอบดินและการใช้ปุ๋ยสูตร 20-8-20. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการทรัพยากรดิน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อนุเทพ ภาสุระ. 2558. การใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในสภาวะดินเค็มจากน้ำทะเล. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา.
- อมรรัตน์ ชุมทอง. 2547. การคัดเลือกและการพัฒนาสูตรตำรับของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus spp.* เพื่อควบคุมโรคใบไหม้ของถั่วหรั่ง (*Vigna subterranean* (L.) Verdc.) ที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* Kuhn. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อุบลวรรณ ผลทวีชัย และอัจฉรา เฟื่องหนู. 2564. ผลของไนโตรเจนร่วมกับ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ต่อการควบคุมเชื้อรา *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 สาเหตุโรครากขาวของยางพาราในสภาพห้องปฏิบัติการ. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 8(1): 44-49.
- อารมณั้ โรจน์สุจิตร์. 2541. โรครากขาว (*Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) Imazeki) ของยางพาราและแนวทางการควบคุมโดยชีววิธี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโรคพืชวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อารมณั้ โรจน์สุจิตร์, สายใจ สุชาติกุล, วสันต์ เพชรรัตน์ และเสมอใจ ชื่นจิตต์. 2552. ลักษณะทางสรีรวิทยาและแนวทางการควบคุมเชื้อราโรครากขาวยางพารา. รายงานวิจัยสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 202-121.
- อุบลวรรณ ผลทวีชัย. 2564. ผลของไนโตรเจนและแมงกานีสร่วมกับ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ต่อ *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 สาเหตุโรครากขาวของยางพารา (*Hevea brasiliensis*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เอกชัย พฤกษ์อำไพ. 2537. คู่มือยางพารา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์พีท-แพล้น พับลิชชิง.
- เอิบ เขียวรี นรมณั้. 2533. ดินของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Abdelmoteleb, A., Troncoso-Rojas, R., Gonzalez-Soto, T. and González-Mendoza, D. 2017. Antifungal activity of autochthonous *Bacillus subtilis* isolated from *Prosopis juliflora* against phytopathogenic fungi. *Mycobiology*. 45: 385–391.
- Ajilogba, F.C., Babalola, O.O. and Ahmad, F. 2013. Antagonistic effects of *Bacillus* species in biocontrol of tomato fusarium wilt. *Studies on Etho-Medicine*. 7: 205-216.
- Babalola, O.O., Fasusi, O.A., Amoo, A.E. and Ayangbenro, A.S. 2021. Complete genome sequence of a plant growth-promoting rhizobacterium, *Bacillus* sp. strain OA1, isolated from soybeans. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 36: 1-6.
- Balachandran, C., Vishali, A., Nagendran, A.N., Baskar, K., Hashem, A. and Allah, E.F.A. 2021. Optimization of protease production from *Bacillus halodurans* under solid state fermentation using agrowastes. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(8): 4263-4269.
- Barton, C.J. 1948. Photometric analysis of phosphaterock. *Analytical Chemistry*. 20: 63-70.
- Borah, M., Das, P., Pathak, S.S., Boro, R.C., and Barooah, M. 2017. Phosphate solubilization by endophytic bacteria isolated from *Oryza sativa*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(10): 2713-2721.
- Boudet, A.M. Kajita, S., Pettenati, J.G. and Goffner, D. 2003. Lignins and Lignocellulosics: a better control of synthesis for new and improved uses. *Trends in Plant Science*. 8(12) 576-581.
- Catherine, A.W., Jonathan, R.G., Vineetha, M.Z., and Wade, C.W. 2014. Assessment of the requirements for magnesium transporters in *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*. 196: 1206–1214.
- Cazorla, F.M., Romero, D., Perez-Garcia, A., Lugtenberg, B.J.J., de Vicente, A. and Bloemberg, G. 2007. Isolation and characterization of antagonistic *Bacillus subtilis* strains from the avocado rhizosphere displaying biocontrol activity. *Applied Microbiology*. 103: 1950-1959.
- Chaihan, M., Sujad, N., Pathom-aree, W. and Lumyong, S. 2019. Biological control of *Rigidoporus microporus* the cause of white root disease in rubber using PGPRs *In vivo*. *Chiang Mai Journal of Science*. 46(5): 850-866.

- Chen, K., Tian, Z., Luo, Y., Cheng, Y. and Long, C.A. 2018. Antagonistic activity and the mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* DH-4 against citrus green mold. *Phytopathology*. 11: 1253-1262.
- Claus, D., and Berkeley, R.C.W. 1986. Genus *Bacillus* Cohn 1872. *Bergeys Manual of Systematic Bacteriology*. 2: 1105-1139.
- Costa, B.M.da., Keasling, J.D., McMahan, C.M. and Cornish, K. 2006. Magnesium ion regulation of in vitro rubber biosynthesis by *Parthenium argentatum* Gray. *Phytochemistry*. 67: 1261-1268.
- Demishtein, K., Reifen, R. and Shemesh, M. 2019. Antimicrobial properties of magnesium open opportunities to develop healthier food. *Nutrients*. 11(10): 1-8. <https://doi.org/10.3390/nu11102363>.
- Dissanayake, D.M.A.P. and Mithrasena, U. 1986. Influence of fertilizers on growth and mineral composition of hevea seedlings grown in the field nursery. *Rubber Research Institute of Sri Lanka*. 65: 32-46.
- Don, M.H., and Jeff, B.J. 2012. The role of magnesium in plant disease. *Plant Soil*. DOI 10.1007/s11104-012-1476-0.
- Ei, M.M., Binghua, L., Jinjin, M., Liming, S., Mingguo, J., Kecheng, Z., and Beibei G. 2019. Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. *Biological Control*. 134: 23-31.
- El-Hassan, S.A. and Gowen, S.R. 2006. Formulation and delivery of the bacterial antagonist *Bacillus subtilis* for management of lentil vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lentis*. *Journal Phytopathol*. 154: 148-155.
- Fox, R. A. 1997. The impact of ecological, cultural and biological factors on the strategy and costs of controlling root diseases in tropical plantation crops as exemplified by *Hevea brasiliensis*. *Journal of the Rubber Research Institute*. 54: 329-362.
- Gao, Z., Zhang, B., Liu, H., Han, J. and Zhang, Y. 2017. Identification of endophytic *Bacillus velezensis* ZSY-1 strain and antifungal activity of its volatile compounds against *Alternaria solani* and *Botrytis cinerea*. *Biological Control*. 105: 27-39.

- Geiger, J.P., Rio, B., Nicole, M. and Nandris, D. 1986. Biodegradation of *Hevea brasiliensis* wood by *Rigidoporus lignosus* and *Phellinus noxius*. European Journal of Forest Pathology. 16: 147-159.
- Gilbert, G.S., Handelsman, J., and Parke, J.L. 1990. Role of ammonia and calcium in lysis of Zoo- spores of *Phytophthora cactorum* by *Bacillus cereus* strain UW85. Experimental Mycology. 14: 1-8.
- Gowtham, H.G., Muralib, M., Singha, S.B., Lakshmeeshaa, T.R., Murthya, K.N., Amrutheshb, K.N., and Niranjanaa, S.R. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus amyloliquefaciens* improves plant growth and induces resistance in chilli against anthracnose disease. Biological Control. 126: 209-217.
- Gryndler, M., Vejsadova, H., and Vancura, V. 1991. The effect of magnesium ions on the vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of maize roots. New Phytol. 122: 445-460.
- Hair, J.A.O., Li, H., Rangu, M., Thapa, S., Yang, Y., Fish, T., Bhatti, S., Thannhauser, T.W. and Zhou, S. 2019. Proteomic effects of magnesium stress on biofilm associated proteins Isolated from cellulolytic *Bacillus licheniformis* YNP5-TSU. Journal of Proteomics Bioinform. 12(7): 113-121.
- Harman, G.E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology. 96: 190-194.
- Harvey, S., Eric, E., and Simon, S. 1974. Magnesium transport in *Bacillus subtilis* W23 during growth and sporulation. Journal of Bacteriology. 117: 1224-1230.
- Hood, A.I. 2006. The mycology of the basidiomycetes. Proceeding of Heart Rot and Root Rot in Tropical Acacia Plantation, Yogyakarta, Indonesia. 7-9 February 2006, pp. 34-59.
- Hossain, M.F., Billah, M., Ali, M.R., Parvez, M.S.A., Zaoti, Z.F., Hasan, S.M.Z., Hasan, M.F., Dutta, A.K., Khalekuzzaman, M., Islam, M.A. and Sikdar, B. 2021. Molecular identification and biological control of *Ralstonia solanacearum* from wilt of papaya by natural compounds and *Bacillus subtilis*: An integrated experimental and computational study. Saudi Journal of Biological Sciences. 28(12):6972-6986. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.07.069.

- Hu, Y., Omary, M., Hu, Y., Doron, O., Hoermayer, L., Chen, Q., Megides, O., Chekli, O., Ding, Z., Friml, J., Zhao, Y., Tsarfaty, I. and Shani, E. 2021. Cell kinetics of auxin transport and activity in *Arabidopsis* root growth and skewing. *Nature Communications*. 1-13.
- Jayaraj. J., Yi, H.G., Liang, S., Muthukrishnan, R., and Velazhahan, R. 2004. Foliar application of *Bacillus subtilis* AUBS1 reduces sheath blight and triggers defense mechanisms in rice. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 111: 115-125.
- Jholapara, R. J., Mehta, R.S., Bhagwat, A.S. and Sawant, C.S. 2013. Exploring and optimizing the potential of chitinase production by isolated *Bacillus* spp. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 5(4): 412-418.
- Jongjeen, J. and Aoki, S.K. 2010. Screening of proteolytic and chitinolytic *Bacillus* spp. isolated from soil. *Agricultural Science Journal*. 41(3): 317-320.
- Kang, S.M., Hamayun, M., Khan, M.A., Iqbal, A. and Lee, I.J. 2019. *Bacillus subtilis* JW1 enhances plant growth and nutrient uptake of Chinese cabbage through gibberellins secretion. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 92: 172- 178.
- Khedherab, S.B., Trabelsib, B.M. and Tounsia, S. 2021. Biological potential of *Bacillus subtilis* V26 for the control of *Fusarium* wilt and tuber dry rot on potato caused by *Fusarium* species and the promotion of plant growth. *Biological Control*. 152: 104-144.
- Kloepper, J.W., Ryu, C.M. and Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*. 94: 1259-1266.
- Kongbrailatpam, B. and Putatunda, C. 2018. In vitro phosphate solubilization by *Bacillus subtilis* PSBN B4 obtained from pineapple (*Ananas comosus*) rhizosphere. *International Journal of Applied Environmental Sciences* . 9: 833-842.
- Kudoyarova, G., Arkhipova, T., Korshunova, T., Bakaeva, M., Loginov, O. and Dodd, I.C. 2019. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1-10. doi:10.3389/ fpls.2019.01368.
- Kumari, P, Meena, M., Gupta, P., Dubey, M.K., Nath, G. and Upadhyay, R.S. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 16: 163-171.



- Lalani Samarappuli. 2000. Economic and efficiency of fertilizer utilization in immature rubber. J. Rubb.Res. Inst Lanka. 42: 1-10.
- Laskar, F. and Sharma, G.D. 2013. Isolation and characterisation of diazotrophic bacteria from rhizosphere of different rice cultivars of south assam, India. Current World Environment, 8(1): 157-163.
- Law, L. 2009. *Hevea brasiliensis*, the rubber tree. Available : <http://www.ethnoleaflets.com//leaflets/rubber2.htm> [27 June 2561 ].
- Lemfack, M.C., Gohlke, B.O., Toguem, S.M., Preissner, S., Piechulla, B. and Preissner, R. 2017. mVOC2.0 : A database of microbial volatiles. Nucleic Acids Research. 46: D1261– D1265.
- Maiden, N.A., Shamin, N.A., Faiz, M.F.A. and Hassifi S.N. 2016. Isolates of *Streptomyces* sp. with antifungal properties against *Rigidoporus microporus*. CRRRI & IRRDB International Rubber Conference 2016, Siem Reap, Cambodia. 500-505.
- Mead, D.J. 2001. Forest plantation thematic papers. Rome : Forestry Department.
- Morton, D.J. and Stroube, W.H. 1955. Antagonistic and stimulatory effects of soil microorganisms upon *Sclerotium rolfsii*. Phytopathol. 45: 417-420.
- Najwa M.J.A. 2013. Response of some fungal species to the effect of copper, magnesium and zinc under the laboratory condition. European Journal of Experimental Biology. 3 (2): 535-540.
- Nakaew, N., Rangjaroen, C. and Sungthong, R. 2015. Utilization of rhizospheric *Streptomyces* for biological control of *Rigidoporus* sp. causing white root disease in rubber tree. European Journal of Plant Pathology. 142: 93-105.
- Nandris, D., Nicole, M. and Geiger, J.P. 1987. Root rot disease of rubber trees. Plant Disease. 71: 298-306.
- Nicole, M.R. and Benhamou, N. 1991. Cytochemical aspects of cellulose breakdown during the infection process of rubber tree roots by *Rigidoporus lignosus*. Cytology and Histology. 81: 1410-1412.
- Nisha, N.s. and Divakaran, J. 2014. Optimization of alkaline protease production from *Bacillus subtilis* NS isolated from sea water. African Journal of Biotechnology. 13(16): 1707-1713.

- Nome, C., Magalhaes, P.C., Oliveira, E., Nome, S., and Laguna, I.G. 2009. Differences in intracellular localization of corn stunt spiroplasmas in magnesium treated maize. *Biocell*. 33: 133-136.
- Nur, S.T., Mohamed, M.H., Abu, S.I., and Siva, K.B. 2016. Determination and mapping of calcium and magnesium contents using geostatistical techniques in oil palm plantation related to basal stem rot disease. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 38: 23-30.
- Obagwu, J. and Korsten, L. 2003. Integrated control of citrus green and blue molds using *Bacillus subtilis* in combination with sodium bicarbonate or hot water. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 187-194.
- Oghenekaro, A.O, Daniel, G. and Asiegbu, F.O. 2015. The saprotrophic wood-degrading abilities of *Rigidoporus microporus*. *Silva Fennica*. 49(4): 1-10.
- Padgham, J.L. and Sikora, R.A. 2006. Biological control potential and modes of action of *Bacillus megaterium* against *Meloidogyne graminicola* on rice. *Crop Protec.* 26: 971-977.
- Pal, K., and Gardener, B.M. 2006. Biological control of plant pathogens. The Plant Health Instructor. DOI 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.
- Pengnoo, A., Kusonwiriawong, C., Niltatana, L. and Kanjanamaneesathian, M. 2000. Greenhouse and field trails of the bacterial antagonists in pellet formulations to suppress sheath blight of rice caused by *Rhizoctonia solani*. *Bio Control Journal*. 45: 245-256.
- Pengnoo, A., Wiwattanapatapee, R., Chumthong A. and Kanjanamaneesathian, M. 2006. Bacterial antagonist as seed treatment to control leaf blight disease of Bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 22: 9-14.
- Rabbee, M.F., Ali, M., Choi, J., Hwang, B.S., Jeong, S.C. and Baek, K.H. 2019. *Bacillus velezensis*: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. *Molecules*. 24(6): 1046-1059.
- Reddy, C.S., Kim, S.C. and Kaul, T. 2017. Genetically modified phytase crops role in sustainable plant and animal nutrition and ecological development. *3 Biotech*. 7: 195. DOI 10.1007/s13205-017-0797-3.

- Ribeiro, V.P., Marriel, I.E., Sousa, S.M.d., Lana, U.G.P., Mattos, B.B., Oliveira, C.A.d. and Gomes, E.A. 2018. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. *Brazilian Journal of Microbiology*. 40-46.
- Rosa, P.A.L., Galindo, F.S., Oliveira, C.E.d.S., Jalal, A., Mortinho, E.S., Fernandes, G.C., Marega, E.M.R., Buzetti, S. and Teixeira Filho, M.C.M. 2022. Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. *Journal Microorganisms*. 10: 1-18.
- Rosenstock, N.P., Berner, C., Smits, M.M., Kram, P. and Wallander, H. 2016. The role of phosphorus, magnesium and potassium availability in soil fungal exploration of mineral nutrient sources in Norway spruce forests. *New Phytologist*. 554-567.
- Rotniam, W., Tanmala, W., Deesang, B., Wonglieng, P., Kanjanamaneesathian, M. and Pengnoo, A. 2008. Effect of antagonistic bacteria, *Bacillus* spp. on *Alternaria* spp. a causal agent of lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaf spot in hydroponic system. *Journal of Plant Disease*. 23: 31-40.
- Samuel, J.M., Flavio, H.V. de M., Ricardo, M. de S., Amanda, F. de F., Eduardo L.C., Helbert, R. de O.S., Mario, L.V. de R. and Luiz, R.G.G. 2015. Common bean growth and health promoted by rhizobacteria and the contribution of magnesium to the observed responses. *Applied Soil Ecology*. 87: 49–55.
- San Francisco, S., Houdusse, F., Zamarreno, A.M., Garnico, M., Casanova, E. and Garcia-Mina, J.M. 2005. Effects of IAA and IAA precursors on the development, mineral nutrition, IAA content of pepper plants cultivated in hydroponic conditions. *Scientia Horticulturae*. 106: 38-52.
- Schulz, S. and Dickschat, J.S. 2007. Bacterial volatiles: The smell of small organisms. *Natural Product Reports*. 24(4): 814-42.
- Schwarze F.W. M.R. 2007. Wood decay under the microscope. *Fungal Biology Reviews*. 21(4):1-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2007.09.001>.
- Shabbir, I., Samad, M.Y.A., Othman, R., Wong, M.Y., Sulaiman, Z., Jaafa, N.M. and Bukhar, S.A.H. 2021. Evaluation of bioformulation of *Enterobacter* sp. UPMSSB7 and mycorrhizae with silicon for white root rot disease suppression and growth promotion of rubber seedlings inoculated with *Rigidoporus microporus*. *Biological Control*. 152: 104467.

- Singh, N., Pandey, P., Dubey, R.C. and Maheshwari, D.K. 2008. Biological control of root rot fungus *Macrophomina phaseolina* and growth enhancement of *Pinus roxburghii* (Sarg.) by rhizosphere competent *Bacillus subtilis* BN1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 24: 1669-1681.
- Slavov, S., Onckelen, H.V., Batchvarova, R., Atanassov, A. and Prinsen, E. 2004. IAA production during germination of *Orobancha* spp. seeds. *Journal of Plant Physiology*. 161(7): 847-853.
- Snoeijsers, S.S., Garcia, A.P., Joosten, M. and Wit, P.D. 2000. The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology*. 493-506.
- Tahir, H.A.S., Gu, Q., Wu, H., Raza, W., Hanif, A., Wu, L., Colman, M.V. and Gao, X. 2017. Plant growth promotion by volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* SYST2. *Front Microbiol* 8: 171.
- Walters, D.R. and Bingham, I.J. 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology*. 151(3): 307-324.
- Wattanasilakorn, S., Sdoodee, S., Nualsri, C. and Chuenchitt, S. 2012. Screening of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) rootstocks for the white root disease resistance. *Journal of Agricultural Technology*. 8: 2385-2395.
- Wiler, R.M., Wilka, M.S.B., Jonas, A.R., Daniel D., Clistenes, W.A.N., and Fabricio A.R. 2015. Magnesium-induced alterations in the photosynthetic performance and resistance of rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. *Scientia Agricola*. 72: 328-333.
- Xu, Z., Zhang, R., Wang, D., Qiu, M., Feng, H., Zhang, N. and Shen, Q. 2014. Enhanced control of cucumber wilt disease by *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 by altering the regulation of its DegU phosphorylation. *Applied and Environmental Microbiology*. 80: 2941-2950.
- Zhang, D., Yu, S., Yang, Y., Zhang, J., Zhao, D., Pan, Y., Fan, S., Yang Z. and Zhu, J. 2020. Antifungal effects of volatiles produced by *Bacillus subtilis* against *Alternaria solani* in potato. *Frontiers in Microbiology*. 11: 1-12.

- Zhang, F., Du, P., Song, C. and Wu, Q. 2015. Alleviation of magnesium deficiency by mycorrhiza in trifoliolate orange: Changes in physiological activity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 27(10): 763-769.
- Zhu, J., Tan, T., Shen, A., Yang, X., Yu, Y., Gao, C., Li, Z., Cheng, Y., Chen, J., Guo, L., Sun, X., Yan, Z., Li, J. and Zeng, L. 2020. Biocontrol potential of *Bacillus subtilis* IBFCBF-4 against *Fusarium* wilt of watermelon. *Journal of Plant Pathology*. 102: 433–441.
- Zoia, A.A. and Amna, S. 2019. Combating early blight infection by employing *Bacillus subtilis* in combination with plant fertilizers. *Current Plant Biology* . 20: 1-8.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ**

1. Nutrient agar (NA)

Peptone	5	กรัม
Beef extract	3	กรัม
Agar	15	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

2. Potato dextrose agar (PDA)

Potato	200	กรัม
Dextrose	20	กรัม
Agar	15	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

3. Potato dextrose agar (PDA)

Potato	200	กรัม
Dextrose	20	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

## ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวกที่ 1 น้ำหนักของตัวอย่างพาราก่อนและหลังการทดสอบ

Treatment Magnesium (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Before experiment (g)	After Experiment (g)
Control	6.73	6.28
0	6.54	5.98
0.1	6.93	6.25
0.3	6.98	6.23
0.5	6.33	5.76

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. บนอาหาร PDA เพิ่มแมกนีเซียม

Treatment Magnesium (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Number of viable <i>Bacillus</i> spp. (CFU/mL)		
	SM1	LPDD3-2	PT7
Control	7.30 × 10 <sup>11</sup>	5.40 × 10 <sup>11</sup>	6.20 × 10 <sup>11</sup>
0.1	7.47 × 10 <sup>11</sup>	5.37 × 10 <sup>11</sup>	6.35 × 10 <sup>11</sup>
0.3	8.55 × 10 <sup>11</sup>	5.62 × 10 <sup>11</sup>	7.07 × 10 <sup>11</sup>
0.5	10.65 × 10 <sup>11</sup>	6.25 × 10 <sup>11</sup>	7.00 × 10 <sup>11</sup>

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลของแมกนีเซียมร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ด้วยวิธี dual culture technique

Treatment Magnesium (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Percentage of <i>R. microporus</i>		
	SM1	LPDD3-2	PT7
Control	61.14 d	57.43 e	58.00 e
0.1	65.43 c	56.00 f	61.14 d
0.3	68.00 b	62.00 d	65.43 c
0.5	72.29 a	66.00 c	68.00 b
F-test		*	
C.V. (%)		2.05	

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มี

ความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

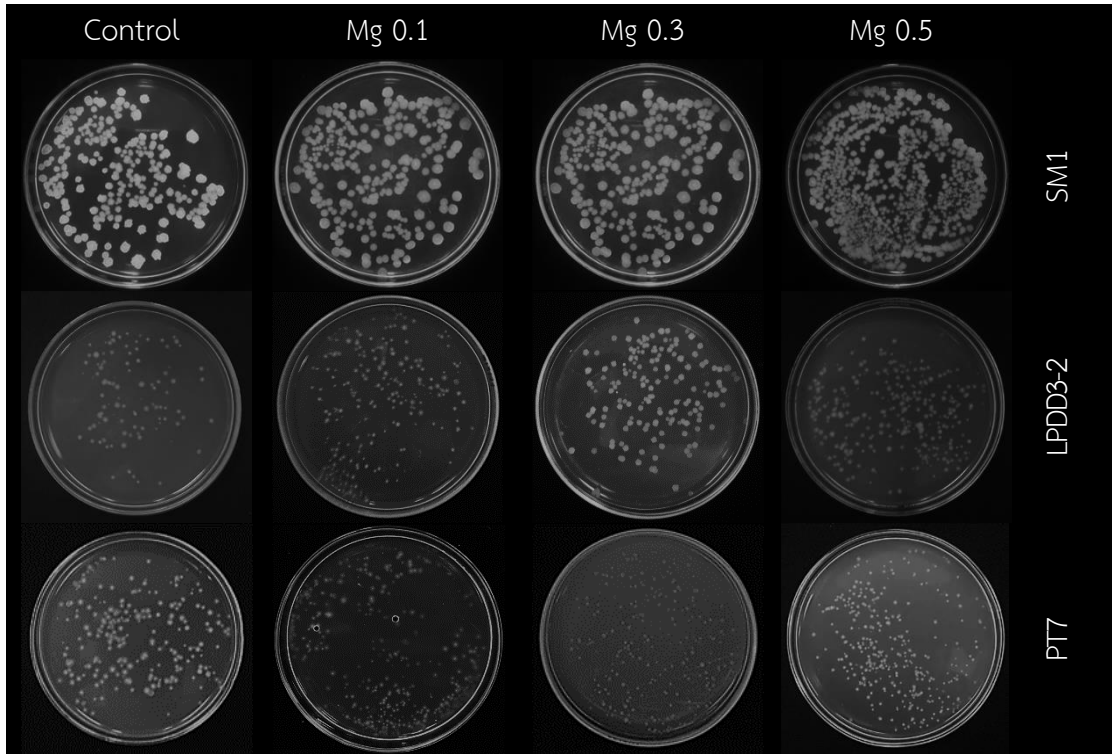


**ตารางภาคผนวกที่ 4** ผลของเซลล์ สารปฏิชีวนะไม่หนึ่งและหนึ่งของแบคทีเรีย *B. subtilis* สายพันธุ์ SM1 ในสภาวะอาหารเพิ่มแมกนีเซียมต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. microporus* สายพันธุ์ NK6 ด้วยวิธี poisoned food

Concentration ( $\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	Percentage of <i>R. microporus</i>		
	fresh cell	non-sterile of supernatant	sterile of supernatant
Mg 0	78.33 $\pm$ 0.54 d	69.44 $\pm$ 0.54 d	61.11 $\pm$ 0.59 d
Mg 0.1	83.33 $\pm$ 0.41 c	71.78 $\pm$ 0.58 c	66.66 $\pm$ 0.68 c
Mg 0.3	90.00 $\pm$ 0.39 b	83.33 $\pm$ 0.39 b	76.11 $\pm$ 1.01 b
Mg 0.5	95.00 $\pm$ 0.54 a	90.00 $\pm$ 0.41 a	84.44 $\pm$ 0.67 a
control	0.00 $\pm$ 0.00 e	0.00 $\pm$ 0.00 e	0.00 $\pm$ 0.00 e
F-test	*	*	*
C.V.	1.54	2.17	2.89

**หมายเหตุ:** แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## ภาคผนวก ค



ภาพภาคผนวกที่ 1 ลักษณะของโคโลนีของแบคทีเรีย *Bacillus* spp. บนอาหาร PDA เพิ่มแมกนีเซียม

