

การคัดเลือก *Pisolithus tinctorius* ราเอกโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ในโครงการ
ปลูกป่าในประเทศไทย

นายเชตชัย โพธิ์ศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-697-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โครงการพัฒนางานวิจัยและศึกษาแนวทางการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย

c/o ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

อาคารสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

73/1 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี

กรุงเทพฯ 10400

25 พ.ค. 2542

การคัดเลือก *Pisolithus tinctorius* ราเอคโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ในโครงการ
ปลูกป่าในประเทศไทย

นาย เชิดชัย โพธิ์ศรี

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974 – 331 – 697 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**SELECTION OF *Pisolithus tinctorius* ECTOMYCORRHIZAL FUNGI FOR
REFORESTATION PROGRAM IN THAILAND**

MR CHERDCHAI PHOSRI

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science**

Inter- Department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

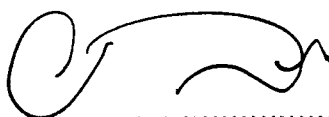
ISBN 974 – 331 – 697 - 3

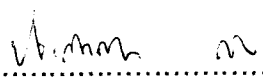
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคัดเลือก *Pisolithus tinctorius* ราเอกโตไมคอร์ไรซา เพื่อใช้ใน
 โครงการปลูกป่าในประเทศไทย
โดย นายเชตชัย โพธิ์ศรี
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ประกิตต์สินี สีहनันทน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ อนิวัรรต เฉลิมพงษ์

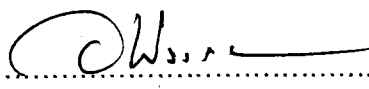
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภาวัฒน์ ชุตินวงศ์)

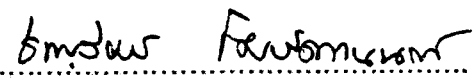
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัน พิชณผลไพบุลย์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประกิตต์สินี สีहनันทน์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ อนิวัรรต เฉลิมพงษ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ มุกดา คูหิรัญ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัญวิตย์ โฆษิตานนท์)

เจตชัย โพธิ์ศรี : การคัดเลือก *Pisolithus tinctorius* ราเอคโตไมคอร์ไรซา เพื่อใช้ในโครงการปลูกป่าในประเทศไทย (SELECTION OF *Pisolithus tinctorius* ECTOMYCORRHIZAL FUNGI FOR REFORESTATION PROGRAM IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ประกิตต์สิน สันนันทน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ. อนิวรรต เฉลิมพงษ์ ; 134 หน้า. ISBN 974-331-697-3.

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อต้องการคัดเลือกสายพันธุ์ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. ที่มีสมบัติที่ติดเหมาะต่อการทำหัวเชื้อเพื่อสร้างไมคอร์ไรซา ให้แก่กล้าสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) และยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)

การศึกษานี้ปัจจัยของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา ที่แยกจากเห็ด *P. tinctorius* จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศ จำนวน 14 สายพันธุ์ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มพล็อต (Completely randomized design, CRD) พบว่า เส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ทุกสายพันธุ์เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 5-7 ที่ระดับความเชื่อมั่น $P = 0.05$ สามารถคัดเลือกรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่มีการเจริญดี ได้ 4 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ที่ 1 จากสวนป่ายูคาลิปตัส จ. ยโสธร, สายพันธุ์ที่ 4 จากป่าสนเขา จ. เชียงใหม่, สายพันธุ์ที่ 12 จากสวนป่ายูคาลิปตัส จ. ตาก และสายพันธุ์ที่ 13 จากป่าสนเขา จ. เพชรบูรณ์

ผลของการใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ในวัตถุประสงค์ต่อการสร้างไมคอร์ไรซา และผลต่อการตอบสนองการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในเรือนเพาะชำ เทียบกับชุดควบคุมที่ได้ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* มาตั้งแต่เชือก่อนใส่ให้กับกล้าไม้ โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* มีผลทำให้การเจริญทางความสูงของลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น น้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้น ใบ และราก และมวลชีวภาพรวม ของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ทำให้กล้าไม้สนสามใบมีการเจริญทางความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ ราก และมวลชีวภาพรวม มากกว่าการใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์อื่น การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ให้กับกล้าไม้ยูคาลิปตัส ทำให้กล้าไม้มีการเจริญทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ ราก และมวลชีวภาพรวม มากกว่าการใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์อื่น ที่ระดับความเชื่อมั่น $P = 0.05$ ผลที่ได้จากการศึกษานี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับใช้เป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับไมคอร์ไรซาในโครงการปลูกป่าในประเทศไทย

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการเกษตร.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ และการเกษตร.....
ปีการศึกษา 2541.....

ลายมือชื่อผู้บันทึก.....เจตชัย โพธิ์ศรี.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

C826756 : MAJOR INTER- DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: ECTOMYCORRHIZAE / *Pisolithus tinctorius* / REFORESTATION

CHERDCHAI PHOSRI : SELECTION OF *Pisolithus tinctorius* ECTOMYCORRHIZAL FUNGI FOR
REFORESTATION PROGRAM IN THAILAND . THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. PRAKITSINTH SIHANONTH,
Ph. D. THESIS COADVISOR: ANIWAT CHALERMPONGSE, M.S. 134 pp. ISBN 974-331-697-3.

The study objective was aimed to select the strains of *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch ectomycorrhizal fungi, which have good properties for producing inocula and forming ectomycorrhiza on *Pinus kesiya* Royle ex Gordon and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Seedlings.

Environmental factors such as temperature and pH that affect the mycelial growth of 14 isolates of *P. tinctorius* which isolated from *P. tinctorius* fruiting bodies of different sources in the country were studied by using completely randomized design (CRD), in order to select these strains for producing inocula.

The results revealed the optimum temperature at 30 °C with the optimum pH between 5 to 7 with statistical confidence at $P = 0.05$. Selection of the suitable isolates under the optimum growth conditions obtained only 4 isolates, which were the isolates no. 1, 4, 12, and 13 from Eucalyptus plantation in Yasothon province, Pine forest in Chiangmai province, Eucalyptus plantation in Tak province, and Pine forest in Petchaboon province, respectively. These isolates were used for making inocula, for mycorrhizal formation with *P. kesiya* and *E. camaldulensis* seedlings.

The effect of inocula of selected *P. tinctorius* isolates in forming ectomycorrhizas and growth responses in *P. kesiya* and *E. camaldulensis* seedlings were studied by using randomized complete block design (RCBD). The results revealed the increases in height, root collar diameter, dry matter of shoot, root, and total biomass of seedlings after inoculation by ectomycorrhizal *P. tinctorius*. For pine seedlings, inoculation with *P. tinctorius* isolate no. 13 increased more growth in height, root collar diameter, dry matter of shoot, root and total biomass in comparison with other isolates. Inoculation of *P. tinctorius* isolate no. 12 on eucalyptus seedlings increased more growth in stem diameter, dry matter of shoot, root and total biomass in comparison with other isolates. These were statistically verified the significant differences at $P = 0.05$. These research findings provide information on how to select the appropriate fungal strains to be used for research, development and production of ectomycorrhizal seedlings in reforestation program in Thailand.

ภาควิชา.....สาขาสวนรุกขวิทยาและวนวัฒนวิทยา.....

สาขาวิชา.....วนวัฒนวิทยา.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....เชษฐา โพธิ์สุ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....Prakitsinth.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....Chalermpongse.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ รศ.ดร. ประกิจดีสิน สิทนันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาด้วย ดีตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ อนิวรรต เฉลิมพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. มุกดา คูหิรัญ และ ผศ.ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็น และข้อแนะนำที่ช่วยทำให้การแก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ภาควิชาจุลชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และ สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ ภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน และเพื่อนพ้องน้องพี่ ทุก ๆ คน

ขอขอบคุณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้กล้อง สเตอริโอไมโครสโคป สำหรับถ่ายรูป

ขอขอบพระคุณ กลุ่มวิจัยโรควิทยาและจุลชีววิทยาป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ ส่วนเมล็ดพันธุ์ไม้ป่า กรมป่าไม้ ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดไม้สำหรับการวิจัย

ขอบคุณ เพื่อน ๆ วนศาสตร์ 57 เพื่อน ๆ สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ผู้มีน้ำใจ และ สุกาภรณ์ กิตติวิโรดม ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจเสมอมา

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและศูนย์ พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT 540046 จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ด้วย

ท้ายนี้ ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณบิดา- มารดา คุณป้า ขอบคุณ พี่ ๆ ทุกคน ซึ่งให้การ สนับสนุนทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
3 วิธีการทดลอง	23
4 ผลการทดลอง	33
5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	94
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	100
รายการอ้างอิง	106
ภาคผนวก	117
ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ชนิดของราเอกโตไมคอร์ไรซา..... 5
2	ชนิดไมในเขตอบอุ่นและเขตร้อนที่มีความสัมพันธ์แบบ เอกโตไมคอร์ไรซา..... 8
3	สายพันธุ์ราเอกโตไมคอร์ไรซา <i>P. tinctorius</i> ที่สามารถแยกได้ เส้นใยที่บริสุทธิ์..... 28
4	ลักษณะการเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MMN ของราเอกโตไมคอร์ไรซา <i>P. tinctorius</i> แต่ละสายพันธุ์ที่สามารถแยกได้เส้นใยที่บริสุทธิ์..... 29
5	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน 35
6	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ระยะเวลา 30 วัน..... 39
7	เปรียบเทียบการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> โดยวัดน้ำหนักแห้ง ของเส้นใย (มิลลิกรัม) ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH ต่าง ๆ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน..... 52
8	การเปลี่ยนแปลงของ pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN เมื่อเลี้ยง เส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 54
9	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH ต่าง ๆ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 57
10.	เปรียบเทียบการเจริญของความสูงลำต้นกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 72
11	เปรียบเทียบการเจริญของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
12	เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น กล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 77
13	เปรียบเทียบการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินเฉลี่ยของกล้าไม้ สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 79
14	เปรียบเทียบการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดินเฉลี่ยของกล้าไม้ สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 82
15	เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน เฉลี่ยของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 84
16	เปรียบเทียบการเจริญมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย ของกล้าไม้ สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ 87
17	เปรียบเทียบการติดเชื้อของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ..... 88
18	การตอบสนองการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะหัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ..... 93

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	ภาพตัดขวางของรากพืช แสดงการติดเชื้อมอคโรไรซ่าชนิดต่าง ๆ ในรากพืช..... 10
2	รูปแบบการแตกแขนงของรากมอคโรไรซ่า..... 11
3	การกระจายของรากมอคโรไรซ่า <i>P. tinctorius</i> ในประเทศไทย สำรวจเก็บตัวอย่างระหว่างปี พ.ศ. 2539-2540..... 24
4	ลักษณะของดอกเห็ด <i>P. tinctorius</i> ที่ขึ้นอยู่ในป่าสนเขาธรรมชาติ..... 25
5	ลักษณะของดอกเห็ด <i>P. tinctorius</i> ที่ขึ้นอยู่ในสวนป่ายูคาลิปตัส 25
6	ลักษณะภายในของดอกเห็ด <i>P. tinctorius</i> เมื่อผ่าตามยาว..... 26
7	ลักษณะของสปอร์รา <i>P. tinctorius</i> 26
8	ลักษณะการเจริญของรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ที่แยกได้เส้นใย บริสุทธิ์ บนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MMN..... 32
9	การเจริญทางน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 34
10	การเจริญทางน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน 34
11	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 36
12	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 37
13	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 37
14	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน..... 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	38
16	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	45
17	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	45
18	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	46
19	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 4 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	46
20	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 5 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	47
21	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 6 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	47
22	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 7 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	48
23	การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 8 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
24 การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 9 ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	49
25 การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 10 ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	49
26 การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 11 ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	50
27 การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 12 ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	50
28 การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 13 ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	51
29 การเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 14 ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	51
30 ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	55
31 ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	55
32 ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหาร เลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน.....	56
34	การเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยราเอกโตไมคอร์ไรซ่า <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม.....	66
35	การเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยราเอกโตไมคอร์ไรซ่า <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม.....	67
36	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 1	68
37	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 1 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ.....	68
38	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 4	69
39	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 4 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ.....	69
40	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 12	70
41	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 12 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ.....	70
42	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 13	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
43	การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทรีตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 13 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ..... 71
44	การเจริญของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 73
45	อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ของกล้าไม้สนสามใบ เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 75
46	อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 76
47	มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 78
48	มวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อ เส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 80
49	มวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อ เส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 81
50	อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน ของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อ เส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 83
51	มวลชีวภาพรวมของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อ เส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 85
52	มวลชีวภาพรวมของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อ เส้นใยรา <i>P. tinctorius</i> เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 86
53	ลักษณะการเกิดเอคโตไมคอร์ไรซา <i>P. tinctorius</i> สายพันธุ์ที่ 4 ในรากไม้สนสามใบ..... 89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
54	ลักษณะรากไมคอร์ไรซ่าของกล้าสนสามใบที่ย้อมติดสี..... 90
55	ลักษณะของรากสนสามใบในชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4 ที่ไม่เกิดเอกโตไมคอร์ไรซ่า 90
56	ลักษณะของรากสนสามใบในทรีตเมนต์ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4 ที่ไม่ติดสีย้อม..... 91
57	ลักษณะการสร้าง และไม่สร้างรากเอกโตไมคอร์ไรซ่าแบบ monopodial pinnate บนรากไม้ยูคาลิปตัส 92

บทที่ 1

บทนำ

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่า ป่าไม้อันเป็นทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทย ได้ถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว จากรายงานของ FAO (1997) ระบุว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 22.8 ของพื้นที่ประเทศเท่านั้น ปริมาณพื้นที่ป่าไม้ที่ยังเหลืออยู่นี้ จึงไม่สามารถควบคุมความสมดุล และรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมให้อ่อนแอวยประโยชน์แก่มนุษย์ได้ ผลจากการขาดความสมดุลของสิ่งแวดล้อมจึงปรากฏให้เห็นได้จากภัยธรรมชาติหลายประการ เช่น ภูมิอากาศแปรเปลี่ยน ความแห้งแล้ง การพังทลายของดิน ทำให้สภาพของดินเสื่อม แม่น้ำตื้นเขิน มลพิษ และภัยอื่น ๆ อีกมากมาย นโยบายป่าไม้แห่งชาติ ปี พ.ศ. 2528 ได้กำหนดให้ประเทศไทยต้องมีพื้นที่ป่าไม้อย่างน้อยร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ การปลูกป่าเพื่อฟื้นฟูสภาพป่าไม้ ทั้งในบริเวณที่เคยเป็นป่ามาก่อน (reforestation) แต่ถูกบุกรุกจนกลายเป็นที่รกร้างว่างเปล่า (swidden area) หรือพื้นที่ที่ไม่เคยเป็นป่ามาก่อน (afforestation) จึงเป็นแนวทางปฏิบัติแนวทางหนึ่งในการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ของประเทศ แต่การปลูกป่าในพื้นที่ดังกล่าว ในหลายท้องที่ต้องประสบกับปัญหาอย่างมาก ต้นกล้าหรือต้นไม้ที่นำไปปลูกใหม่จะมีอัตราการตายสูง การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างช้าและแคระแกรน ซึ่งมิผลทำให้โครงการปลูกป่าล้มเหลว และไม่ประสบผลตามเป้าหมายเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างต้นไม้แต่ละชนิดกับจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างราเอคโตไมคอร์ไรซา และระบบรากของต้นไม้ ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีระวิทยา หรือการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าวงศ์ต่าง ๆ ว่าจะช่วยในการดูดซับความชื้น แร่ธาตุต่าง ๆ ให้แก่กล้าไม้ และช่วยให้กล้าไม้มีชีวิตอยู่รอดได้ในช่วงวิกฤตจากความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูง ดินเป็นกรดจัด (Trappe, 1977) ในขณะที่รากพืชจะปลดปล่อยอินทรีย์สารจำพวกคาร์โบไฮเดรต วิตามิน และกรดอะมิโน ให้กับรา กล่าว่าได้ว่าไมคอร์ไรซาเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต และมีความสำคัญในดิน ที่ประกอบด้วยรากของพืช และราที่มีการเอื้อประโยชน์ไปควบคู่กันไป เป็นที่ทราบกันดีว่าพืชในตระกูลสนจำเป็นต้องอาศัยราไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าราไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเร่งอัตราการเจริญ และเพิ่มผลผลิตของพืช

ดังนั้นในปัจจุบันได้มีการผลิตราเอคโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (inoculum) เพื่อใช้ในการปลูกป่า ราที่ใช้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ *Hebeloma crustuliniforme* (Bull. ex St. Am.) Quel., *Cenococum geophilum* Fr. : Fr. และ *Laccaria bicolor* (R. Mre) Orton เป็นต้น (Marx et al., 1992) แต่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นหัวเชื้อ และผลิตเป็นการค้า เพื่อใช้ในการปลูกป่าในต่างประเทศคือ *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. ในประเทศไทยเคยมี

รายงานพบว่า ในป่าสน และสวนป่ายูคาลิปตัสจะมีรา *P. tinctorius* ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (อนิวรรณ, 2525; Chalermpongse, 1994)

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงทำการคัดเลือกหาสายพันธุ์รา *P. tinctorius* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่ในประเทศ และเป็นสายพันธุ์ที่ได้ถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติว่าเหมาะสมกับภูมิอากาศ และสภาวะแวดล้อมในประเทศไทย เพื่อที่จะใช้ผลิตเป็นหัวเชื้อสำหรับเพาะให้กับกล้าไม้ในแปลงเพาะ ก่อนย้ายนำไปปลูก ซึ่งจะช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้ ให้ดำรงชีวิตอยู่รอดปลอดภัย ต่อสู้กับสภาวะแวดล้อมที่เลวร้ายได้ และดำเนินการปลูกป่าให้ได้ผลสมความมุ่งหมายต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเก็บรวบรวมเห็ด *P. tinctorius* ซึ่งเป็นราเอกโตไมคอร์ไรซ่าจากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศ
2. เพื่อแยกสายใยจากเนื้อเยื่อเห็ด *P. tinctorius* ให้บริสุทธิ์
3. เพื่อคัดเลือก *P. tinctorius* ที่มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการทำหัวเชื้อเพื่อสร้างไมคอร์ไรซ่า
4. เพื่อทดสอบการสร้างไมคอร์ไรซ่าของ *P. tinctorius* ที่คัดเลือกได้กับกล้าไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) และยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)
5. เพื่อศึกษาผลของ *P. tinctorius* ต่อการเร่งอัตราการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ (*P. kesiya*) และยูคาลิปตัส (*E. camaldulensis*)

สมมติฐาน

1. *P. tinctorius* สามารถสร้างไมคอร์ไรซ่าในกล้าไม้สนสามใบ (*P. kesiya*) และยูคาลิปตัส (*E. camaldulensis*)
2. *P. tinctorius* สามารถเร่งอัตราการเจริญของสนสามใบ (*P. kesiya*) และยูคาลิปตัส (*E. camaldulensis*)
3. *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน จะมีความสามารถ และประสิทธิภาพในการสร้างไมคอร์ไรซ่ากับกล้าไม้แตกต่างกัน

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้จะใช้เฉพาะ *P. tinctorius* จากแหล่งเก็บต่าง ๆ ในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ที่สามารถเลี้ยง และเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ทดสอบกับกล้าไม้สองชนิด คือ สนสามใบ และยูคาลิปตัส ภายใต้สภาพของห้องปฏิบัติการ หรือเรือนเพาะชำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษาครั้งนี้จะได้สายพันธุ์ของราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ที่ดี และเหมาะต่อการผลิตหัวเชื้อเพื่อใช้เพาะให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส เพื่อใช้ในโครงการปลูกป่าในประเทศไทย และเป็นแนวทางสำหรับการผลิตกล้าไม้สำหรับการปลูกป่าในแหล่งที่ห่างไกล หรือปราศจากราเอคโตไมคอร์ไรซา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บริเวณรากพืชเป็นแหล่งที่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่จำนวนมากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ในดินกับพืช อาจจะอยู่ในรูปของการย่อยสลายซากพืช (saprotrophic), การทำให้เกิดโรค (pathogenic), และ การอาศัยอยู่ร่วมกัน (symbiotic) เป็นต้น

ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) หรือ fungus-root มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า “ mykes ” แปลว่ารา และ “ rhiza ” แปลว่าราก หมายถึง โครงสร้างของรากที่เป็นผลมาจากความสัมพันธ์แบบพึ่งพาเกื้อกูล และเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน ระหว่างราและรากพืช โดยรา นั้นจะต้องไม่ใช่ราที่เป็นสาเหตุของโรคพืช (Jackson, 1984) ราจะช่วยดูดน้ำ และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส (Kumar, 1988; Nopamornbodi, 1995) ในขณะที่รากพืชจะปลดปล่อยอินทรีย์สารจำพวก คาร์โบไฮเดรต, วิตามิน และกรดอะมิโน ให้กับรา ลักษณะดังกล่าวนี้จึงเสมือนเป็นกลไกในการมีชีวิตอยู่รอดของทั้งรา และพืช ทำให้พืชเจริญอยู่ได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ, ความเป็นกรดสูง, ความแห้งแล้ง, โรค, อุณหภูมิสูง และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่ไม่เหมาะสม ไมคอร์ไรซาจึงถือเป็นองค์ประกอบที่มีชีวิต และมีความสำคัญในดิน มีสมบัติเป็นทั้งราก และราที่มีประโยชน์ไปควบคู่กัน

Mark และ Foster (1973) รายงานว่า Unger เป็นบุคคลแรกที่ค้นพบรากปรากฏอยู่บนรากพืช และต้นไม้ป่า แต่ไม่ทำให้เกิดโรค ต่อมาในปี 1885 Frank นักโรควิทยาป่าไม้ชาวเยอรมัน เรียกการอยู่ร่วมกันของรากกับรากพืชนี้ว่า ไมคอร์ไรซา โดยอาศัยโครงสร้าง และลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันสามารถจำแนกชนิดของไมคอร์ไรซา ได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. **เอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhiza)** ราในกลุ่มนี้จะสร้างเส้นใยเป็นแผ่นหนาประมาณ 20-40 ไมโครเมตร (Issacc, 1992) ปกคลุมบริเวณผิวรากเรียกแผ่นแมนเทิล (mantle sheath) เส้นใยบางส่วนของแมนเทิลจะเข้าไปเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ผิว (epidermis) และในชั้นคอร์เทกซ์ของเซลล์ราก ประสานกันเป็นร่างแหเรียก ไฮฮาร์ติก (hartig net) ลักษณะของรากพืชที่ติดเชื้อราไมคอร์ไรซาชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 ราเอคโตไมคอร์ไรซาจัดเป็นราชั้นสูง ใน class Basidiomycetes เป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 1) ซึ่งสามารถสร้างดอกเห็ด (mushroom) และ พัพบอลล์ (puffball) โผล่เหนือพื้นดินให้เห็นได้ พบแพร่กระจายทั่วทุกเขตของโลก ในเขตหนาวเขตอบอุ่น และในเขตร้อน มากกว่า 5,000 ชนิด นอกจากนี้สามารถพบได้ใน class Zygomycetes, Ascomycete, และ Deuteromycetes โดยอาศัยอยู่ร่วมกันกับพันธุ์ไม้ป่าประมาณ 2,000 ชนิดในหลาย ๆ วงศ์ ได้แก่ ไม้วงศ์สนเขา (Pinaceae), ไม้วงศ์ก่อ (Fagaceae), ไม้วงศ์กำลังเสือโคร่ง

(Betulaceae), ไม้วงศ์ยูคาลิปตัส (Myrtaceae), ไม้วงศ์วอลนัท (Juglandaceae), ไม้วงศ์กุหลาบพันปี (Ericaceae), ไม้วงศ์ชัยพฤกษ์ (Caesalpinaceae) และไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) (อนิวรรณ, 2539; Chalermpongse, 1993; Brundrett et al., 1996)

ตารางที่ 1 ชนิดของราเอกโตไมคอร์ไรซา

Class	Order	Family	Genera
Basidiomycetes	Agaricales	Amanitaceae	<i>Amanita, Limacella</i>
		Boletaceae	<i>Austroboletus, Boletellus, Boletochaete, Boletus, Buchwaldoboletus, Chalciporus, Fistulinella, Gyrodon, Gyroporus, Heimiella, Leccinum, Phlebopus, Phylloporus, Pulveroboletus, Suillus, Rubinoboletus, Tylopilus, Xanthoconium</i>
		Cortinariaceae	<i>Astrosporina, Cortinarius, Cuphocybe, Dermocybe, Descolea, Hebeloma, Inocybe, Leucocortinarius, Rozites, Stephanopus, etc.</i>
		Entolomataceae	<i>Clitopilus, Entoloma, Leptonia, Rhodocybe</i>
		Gomphidiaceae	<i>Chroogomphus, Cystogomphus, Gomphidius</i>
		Hygrophoraceae	<i>Bertrandia, Gliophorus, Camarophyllus, Hygrocybe, Humidicutis, Hygrophorus, etc.</i>

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Class	Order	Family	Genera
		Paxillaceae	<i>Paxillus</i>
		Strobilomycetaceae	<i>Strobilomyces</i>
		Tricholomataceae	<i>Clitocybe</i> , <i>Cystoderma</i> , <i>Cantharellula</i> , <i>Laccaria</i>
	Aphylliphorales	Cantharellaceae	<i>Cantharellus</i> , <i>Craterellus</i>
		Clavariaceae	<i>Aphelaria</i> , <i>Clavaria</i> , <i>Clavariadelphus</i> , <i>Clavicornia</i> , <i>Clavulina</i> , <i>Clavulinopsis</i> , <i>Ramaria</i> , <i>Ramariopsis</i>
		Corticiaceae	<i>Amphinema</i> , <i>Byssocorticium</i> , <i>Byssosporia</i> , <i>Piloderma</i>
		Thelephoraceae	<i>Boletopsis</i> , <i>Thelephora</i>
	Gautieriales	Gautieriaceae	
	Hymenogastrales	Hydnangiaceae	
		Hymenogastraceae	
		Octavianinaceae	
		Rhizopogonaceae	
	Lycoperdales	Mesophelliaceae	<i>Lycoperdon</i>
	Melanogastrales	Leucogastraceae	<i>Leucogaster</i> , <i>Leucophleps</i>
		Melanogastraceae	<i>Melanogaster</i>
	Phallales	Hysterangiaceae	<i>Hysterangium</i> , <i>Pseudohysterangium</i> , <i>Trappea</i>
	Russulales	Elasmomycetaceae	<i>Elasmomyces</i> , <i>Gymnomyces</i> , <i>Martellia</i> ,

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Class	Order	Family	Genera
Ascomycetes	Sclerodermatales		<i>Zelleromyces</i>
		Russulaceae	<i>Lactarius, Russula</i>
		Astraceae	<i>Astraeus</i>
		Sclerodermataceae	<i>Scleroderma, Horakiella</i>
	Eurotiales	Elaphomycetaceae	<i>Elaphomyces</i>
	Pezizales	Humariaceae	<i>Peziza</i>
	Tuberales	Eutuberaceae	
		Geneaceae	
		Hydnoriaceae	
		Pseudotuberaceae	
		Terfeziaceae	
Zygomycetes	Mucorales	Endogonaceae	<i>Endogone, Sclerogone</i>
Deuteromycetes			<i>Cenococcum</i>

ที่มา Miller, 1982; Brundrett et al., 1996

ในประเทศไทยพบว่ารากเอคโตไมคอร์ไรซา ประมาณ 69 ชนิด อยู่ร่วมกับพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศป่าเต็งรัง ซึ่งแสดงการสร้างเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างเด่นชัด ได้แก่ ไม้เต็ง (*Shorea obtusa* Wall.), รัง (*Shorea siamensis* Miq.), เทียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.), พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.), และมะค่าโมง (*Azelia xylocarpa* Craib.) (อนันวรรต และธีรวัฒน์, 2524; Chalermpongse, 1992)

2. เอนโดไมคอร์ไรซา (*endomycorrhiza*) ราในกลุ่มนี้จะมีเส้นใยเจริญอยู่ภายนอกผิวราก ไม่รวมกันเป็นแผ่นแมนเทิล เส้นใยของราจะเจริญเข้าไปอยู่ภายในชั้นคอร์เทกซ์ของเซลล์ราก และสร้างโครงสร้างพิเศษ 2 แบบ สำหรับดูดธาตุอาหาร ขึ้นภายในเซลล์คอร์เทกซ์นั้น คือ arbuscule เป็นโครงสร้างที่มีผนังหนา และมีรูปร่างคล้ายต้นไม้แตกกิ่งก้านสาขา (dwarf tree) และ vesicle ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างกลม หรือรี ผนังบาง จึงอาจเรียกเอนโดไมคอร์ไรซา อีกในชื่อหนึ่งว่า Vesicular-arbuscular mycorrhiza หรือ VA mycorrhizas (VAM) ราในกลุ่มเอนโดไมคอร์

ไรซา จัดอยู่ใน Class Phycomycetes, Family Endogonaceae จำแนกได้ประมาณ 120 ชนิด ส่วนใหญ่อยู่ในสกุล Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Glomus, Sclerocystis และ Scutellospora (Schenck & Perez, 1987 อ้างใน Chalermpongse, 1993)

อนิวรรณ และธีรวัฒน์ (2525) พบว่า ในระบบนิเวศป่าดิบแล้งของไทย จะมีชนิดพันธุ์ไม้ที่มีความสัมพันธ์กับรากแบบนี้อยู่ด้วยกันทั้งสิ้น 113 ชนิด ที่สำคัญได้แก่ ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.), พะยุง (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre), แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub. Var. *kemii* (Craib & Hutch) Nielsen), มะค่าแต้ (*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.), กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A. Benn.) เป็นต้น

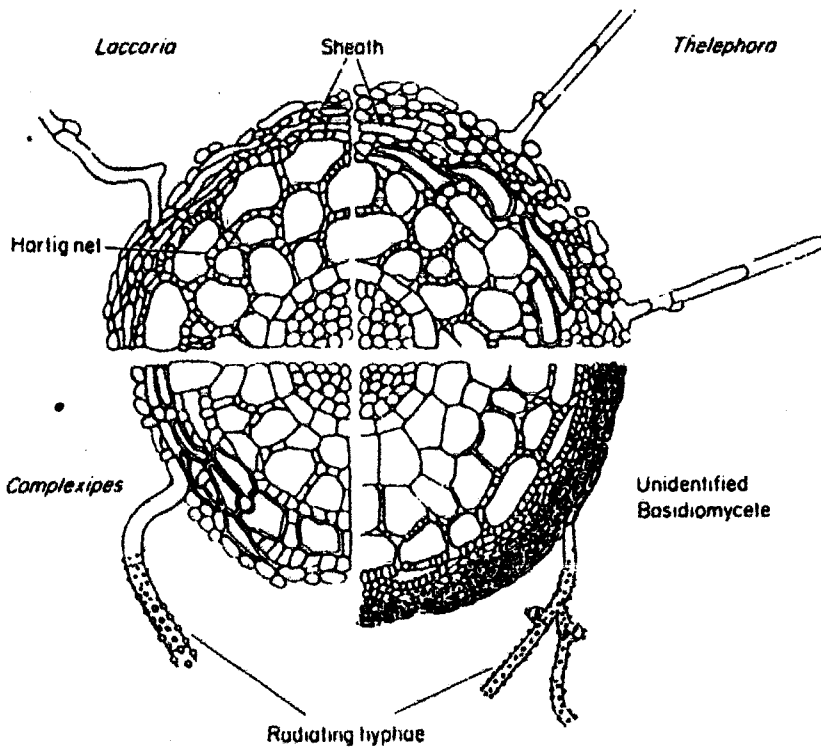
3. *เอกเทโนโดไมคอร์ไรซา (ectendomycorrhiza) เป็นลักษณะของไมคอร์ไรซาที่มีลักษณะของเอกโตไมคอร์ไรซา และเอนโดไมคอร์ไรซา ความสัมพันธ์แบบนี้พบค่อนข้างน้อยในสภาพดินป่าไม้ โดยปกติอาจจะพบได้กับพืชที่มีความสัมพันธ์แบบเอกโตไมคอร์ไรซาอยู่แล้ว เช่นในไม้สนเขา (*Pinus resinosa* Ait., *pinus sylvestris* L., *Pinus ponderosa* Laws.), Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) เป็นต้น ชนิดของราที่อยู่ในกลุ่มนี้เช่น *Rhizoctonia sylvestris*, *Mycelium radicans atrovirens* (Harley & Smith, 1983) ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ชนิดนี้ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มอีกมาก

ตารางที่ 2 ชนิดไม้ในเขตอบอุ่น และเขตร้อนที่มีความสัมพันธ์แบบเอกโตไมคอร์ไรซา

Family	Genera
Aceraceae	<i>Acer</i>
Angiospermae	<i>Araliaceae, Didymopanax</i>
Betulaceae	<i>Alnus, Betula, Carpinus, Corylus, Ostrya, Ostryopsis</i>
Caesalpinniaceae	<i>Afzelia, Uapaca, Anthonona, Bauhinia, Berlinia, Brychystegia, Cassia, Eperua, Erythrophleum, Gilbertiodendron, Instia, Isoberlinia, Julbernardia, Microberlinia, Monopetalanthus, Paramacrolobium, Tetraberlinia</i>
Casuarinaceae	<i>Allocasuarina</i>
Cistaceae	<i>Citrus, Helianthemum, Tuberaria</i>
Corylaceae	<i>Corylus</i>

ตารางที่ 2 (ต่อ)

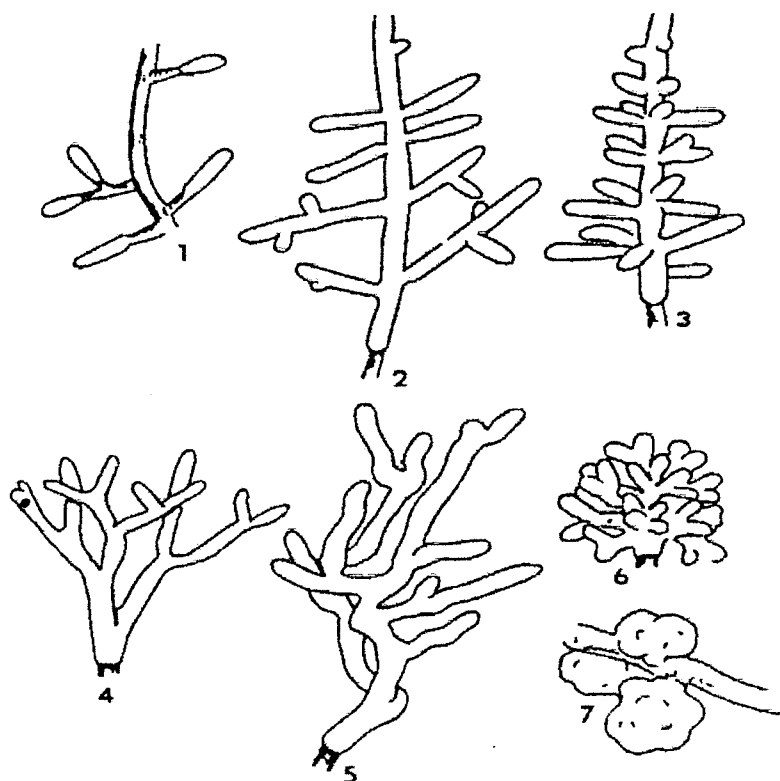
Family	Genera
Cupressaceae	<i>Cupressus, Juniperus</i>
Dipterocarpaceae	<i>Anisoptera, Shorea, Balanocarpus, Cotylelobium, Dipterocarpus, Dryobalanops, Vateria, Vatica</i>
Fabaceae	<i>Gastrolobium, Gompholobium, Jacksonia, Mirbelia, Oxyllobium, Percopsis</i>
Fagaceae	<i>Castanopsis, Fagus, Lithocarpus, Nothofagus, Pasania, Quercus, Trigonobalanus, Castanea</i>
Gnetaceae	<i>Gnetum</i>
Gymnospermae	<i>Abies, Cathaya, Cedrus, Larix, Keteleeria, Picea, Pinus, Tsuga, Pseudolarix</i>
Juglandaceae	<i>Carya, Juglans</i>
Letospermaceae	<i>Leptospermum</i>
Meliaceae	<i>Owenia</i>
Myrtaceae	<i>Agonis, Allosyncapia, Angophora, Baeckea, Compomanesia, Eucalyptus, Eugenia, Leptospermum, Melaleuca, Tristania</i>
Mimosaceae	<i>Acacia</i>
Nyctaginaceae	<i>Neea, Pisonia</i>
Palmae	<i>Euterpe</i>
Papilionaceae	<i>Ormosia</i>
Polygonaceae	<i>Cocoloba, Rhamnaceae, Rhamnus</i>
Rhamnaceae	<i>Pomaderris, Trymalium</i>
Rosaceae	<i>Crataegus, Dryas, Malus, Pyrus, Sorbus</i>
Salicaceae	<i>Populus, Salix</i>
Sapindaceae	<i>Allophylus, Nephelium</i>
Tiliaceae	<i>Tilia</i>
Ulmaceae	<i>Ulmus</i>



ภาพที่ 1. ภาพตัดขวางของรากพืช แสดงการติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่าชนิดต่าง ๆ ในรากพืช (ที่มา Harley & Smith, 1983)

ลักษณะของรากพืชที่ติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่า

ลักษณะของรากพืชที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะแตกต่างไปจากรากพืชที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า อย่างเห็นได้ชัด เช่น รูปร่าง สี ลักษณะของผิวราก นอกจากนี้ยังมีลักษณะอื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กมากจนต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจดูลักษณะของรากที่เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างรา และรากพืช รากพืชที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่าจะมีการแตกแขนงมากขึ้น Zak (1973) ระบุว่า รากไม้ในตระกูล *Abies*, *Larix*, *Picea*, *Pseudotsuga* และ *Tsuga* ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะมีรูปแบบการแตกแขนงของรากเป็นแบบ pyramidally pinnate ขณะที่รากสนที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่าส่วนใหญ่จะมีลักษณะการแตกแขนงเป็นแบบ monopodial, bifurcates หรือ coralloid รูปแบบของการแตกแขนงและชื่อเรียกแสดงไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2. รูปแบบการแตกแขนงของรากเอคโตไมคอร์ไรซา 1) simple or unramified, 2) monopodial-pinnate, 3) monopodial-pyramidal, 4) dichotomous, 5) irregularly pinnate, dichotomous-like, 6) coralloid, 7) tubercle-like (ที่มา Durall et al., 1996)

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของรากเอคโตไมคอร์ไรซา

รากเอคโตไมคอร์ไรซาก็เหมือนกับสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย ที่ต้องมีการเจริญ หรือทวีจำนวน ซึ่งการเจริญหรือทวีจำนวนนี้จะเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเป็นกรด-ด่าง และสารอาหาร เป็นต้น

1.อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญยิ่งในการเจริญ และการปรับตัวให้อยู่รอดของรากเอคโตไมคอร์ไรซา รากเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์ เจริญในช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันออกไป (Hacskeylo et al., 1965) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของรากเอคโตไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 18-27 องศาเซลเซียส (Harley & Smith, 1983) รากเอคโตไมคอร์ไรซาบางชนิดมีความทนทาน และสามารถเจริญได้ในสภาพที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ France และ Reid (1979) รายงานว่า รา *Amanita citrina* (Schaeff.), *Amanita muscaria* (L. ex Fr.), *Cenococcum graniforme* (Sow.), *Pisolithus tinctorius* (pers.) Coker & Couch., *Thelephora terrestris* (Ehrh. ex Fr.), *Suillus grannulatus* (L. ex Fr.), *Suillus tomentosus*

(Kauffm.) Singer, Shell & Dick, *Laccaria laccata* (Scoop ex Fr.) Berk. & Br. และ *Hebeloma crustuliniforme* (Bull. ex St. Am.) Quel. สามารถเจริญ และอยู่รอดได้ร้อยละ 97 ภายหลังจากการเก็บที่ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นอกจากนี้รา *P. tinctorius* ยังสามารถเจริญบนอาหาร Hagem agar ที่อุณหภูมิสูงถึง 42 องศาเซลเซียสได้ (Momoh & Gbadegesin, 1980)

2. ความชื้น บทบาทของความชื้นต่อของราเอคโตไมคอร์ไรซ่านั้น มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่รอด การเจริญของรา ที่ระดับความชื้นในดินต่ำ ๆ ประมาณร้อยละ 2-7 ราเอคโตไมคอร์ไรซาก็ยังสามารถเจริญอยู่ได้ และเจริญได้ดีที่ระดับความชื้นอยู่ในดินระหว่างร้อยละ 10-15 (Harley & Smith, 1983) รา *Cenococum geophilum* Fr.: Fr. เป็นราเอคโตไมคอร์ไรซาที่สามารถเจริญ และอยู่ร่วมกับต้นไม้ ในสภาพที่มีความแห้งแล้งสูงได้ (Trappe, 1977)

3. ความเป็นกรด-ด่าง ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ราเอคโตไมคอร์ไรซาเจริญอยู่ได้นั้น จะมีความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันไปอย่างมาก ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่ อยู่ระหว่าง 4.5- 5.5 (Hung & Trappe, 1983) ราเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด หรือต่างสายพันธุ์ จะมีความสามารถเจริญในสภาพที่มีความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกันไปด้วย Willenborg et.al (1990) พบว่าความเป็นกรด-ด่างที่ส่งเสริมการเจริญของรา *Paxillus involtus* (Batsch : Fr.) Fr. จำนวน 5 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.5-4.5

4. อาหาร อาหารที่จำเป็นในการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ โดยทั่วไปราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และเซลโลไบโอส เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ส่วนน้ำตาลฟรุคโตสจะถูกใช้ได้โดยราเอคโตไมคอร์ไรซาบางชนิด หรือบางสายพันธุ์เท่านั้น (Cao & Crawford, 1993) Thapar (1988) รายงานว่า รา *Scleroderma bovis* Fr., *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg. และ *Cenococum graniforme* (Sow.) เจริญได้ดีบนอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส และมอลโตส เป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซานั้น จะอยู่ในรูปของอนินทรีย์ในโตรเจน ราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี แอมโมเนียม เป็นแหล่งไนโตรเจน (France & Reid, 1982; Harley & Smith, 1983; Ek et al., 1994) ราเอคโตไมคอร์ไรซาบางชนิดสามารถเจริญได้บนอาหารที่มี ไนเตรต หรือสารอินทรีย์ในโตรเจน เช่น กรดอะมิโน เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ Scheromm et al. (1990) พบว่า รา *Hebeloma cylindrosporum* Romagn. มีอัตราการเจริญบนอาหารที่ใส่ไนเตรตเป็นองค์ประกอบ เพิ่มขึ้น 10 เท่า เมื่อเทียบกับการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน

5. ยาฆ่ารา (fungicides) ยาฆ่าราที่ใช้สำหรับป้องกันกำจัดโรคพืช มีผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา กล่าวคือ ยาฆ่าราบางชนิดจะไปยับยั้งการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา (Mardisubroto & Wardana, 1982) หรืออาจจะไปกระตุ้นให้เจริญเร็วขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์อื่นบริเวณราก ถูกทำลายลงไป (Torstensson & Wessen, 1984)

ราเอคโตไมคอร์ไรซา มีความสามารถที่จะทนทานต่อยาฆ่าราแต่ละชนิดที่ใช้ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แตกต่างกันไป Marx และ Rowan (1981) พบว่า ยาฆ่ารา Benodanil ที่ระดับความเข้มข้น 3.4, 6.8, 13.7, และ 27.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในอาหาร Modified Melin-Norkran (MMN) จะยับยั้งการเจริญ ของรา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. และ *Thelephora terrestris* Ehrh. ex Fr. ในขณะที่การใช้ Captan ที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 2.0, 3.9, และ 8.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาทั้งสองชนิด Hutchison (1990) รายงานว่าราเอคโตไมคอร์ไรซาในสกุล Boletinus, Boletellus, Boletus, Chalciaporus, Lentinum, Suillus, Xerocomus, Pisolithus, Rhizopogon, Scleroderma, Hydngangium, Laccaria, Hygrophorus, Thelephora และ Paxillus สามารถทนทานและเจริญบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่มี Benomyl อยู่ในปริมาณ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Cenococcum geophilum* Fr.: Fr., ราเอคโตไมคอร์ไรซาในสกุล Hebeloma, Lactarius, Russula ไม่สามารถเจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมด้วย Benomyl เป็นองค์ประกอบอยู่ได้

6. จุลินทรีย์อื่นในดิน ราเอคโตไมคอร์ไรซาบางชนิด ไม่สามารถที่จะเจริญ และแก่งแย่งกับจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ รากพืชได้ จุลินทรีย์บางชนิด สามารถสร้างสารพิษขึ้นในดิน เช่น Gliotoxin หรือ Griseofulvin ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาได้ (Jackson & Mason, 1984)

บทบาทที่สำคัญของราเอคโตไมคอร์ไรซาในระบบนิเวศน์

1. ความเป็นประโยชน์ต่อพืช

1.1 การดูดซับแร่ธาตุอาหาร รากพืชที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ด้วย จะมีขนาดใหญ่ และแตกแขนงมากขึ้น เส้นใยของราที่แผ่กระจายไปในดินทุกทิศทาง จะทำหน้าที่เสมือนรากฝอย ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมธาตุอาหาร และน้ำของราก Marx และ Ruehle (1988) พบว่า รากของต้นสน *Pinus taeda* L. ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. ภายหลังการย้ายปลูก 2 ปี จะสามารถสังเกตเห็นเส้นใยของรา แผ่ไปในดินได้ไกลถึง 3 เมตร เส้นใยที่แผ่ไปได้ไกล ๆ นี้สามารถดูดธาตุอาหารและน้ำ ในบริเวณที่รากไปไม่ถึงส่งมาให้กับราก ส่งผลให้การเจริญของต้นไม้ดีขึ้น Rousseau et al. (1994) พบว่า พื้นที่ผิวในการดูดซึมของ

รากที่เพิ่มขึ้นนั้น มีเส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซาเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 75 Skinner และ Bowen (1974) ได้ใช้สารกัมมันตภาพรังสีฟอสฟอรัส-32 ตรวจสอบพบว่ารากของกล้าสน *Pinus radiata* D. Don. ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. จะสามารถสะสมฟอสฟอรัสในราก ที่ได้จากการดูดซึมโดยเส้นใยของรา มากกว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา ราเอคโตไมคอร์ไรซายังสามารถย่อยสลายธาตุอาหารในดินที่ละลายตัวได้ยาก ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ Cumming และ Weinstein (1990) รายงานว่า กล้าสน *Pinus rigida* Mill. ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. จะสามารถใช้ $AIPO_4$ เป็นแหล่งฟอสฟอรัสได้ ซึ่ง Cumming (1993) อธิบายว่า การที่กล้าไม้ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอยู่ร่วมด้วย สามารถใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ เนื่องจากราเอคโตไมคอร์ไรซาจะผลิตกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของ $AIPO_4$ โดยตรง Williamson และ Alexander (1975), Ho และ Zak (1979) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซายังสามารถสร้างเอนไซม์ Phosphatase สะสมไว้ในเซลล์ได้ และด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ Phosphatase ที่ราเอคโตไมคอร์ไรซาผลิตขึ้นมานี้ ทำให้พืชสามารถใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ละลายยาก เช่น

p-nitrophenylphosphate, Calcium Phytates (Jackson & Mason, 1984; Allen et al., 1981) ได้ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดเข้าไปนี้ ประมาณร้อยละ 90 จะถูกสะสมไว้ที่แผ่นแมนเทิล (Harley & Smith, 1983; Jackson & Mason, 1984) ในรูปของ Soluble orthophosphate (Harley & Loughman, 1963), Soluble polyphosphate (Martin et al., 1983; Harley & Smith, 1983), หรือ Polyphosphate granules (Chilvers & Harley, 1980; White & Brown, 1979) เส้นใยของราจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกักเก็บธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช และจะปลดปล่อยให้พืชเมื่อพืชมีความต้องการธาตุอาหาร

1.2 การป้องกันโรกระบบรากของพืช ราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรกระบบรากพืช และต้นไม้ได้ โดยแผ่นแมนเทิล และไฮฮาร์ดิก จะทำหน้าที่เสมือนเกราะป้องกันเชื้อโรคที่จะเข้ามาทำลายราก (Marx, 1969a) ราเอคโตไมคอร์ไรซายังสามารถสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotics) ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคได้ ซึ่ง Marx (1969b) และ Marx และ Davey (1969) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Leucopaxillus cerealis* var. *piceina* สามารถสร้างสารปฏิชีวนะ ชื่อ Diatretyne nitrile และ Diatretyne 3 ที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อรา *Phytophthora cinnamomi* ได้ Sinclair และคณะ (1982) พบว่า รากของกล้าสน *Pinus resinosa* Ait. ที่ติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *Laccaria laccata* (Scop.: Fr.) B. & Br. สามารถป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* และส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้ให้เป็นไปตามปกติได้ ในขณะที่ต้นกล้าที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซา จะมีอัตราการตายสูง หรือการเจริญของต้นกล้าจะชะงักงัน

นอกจากที่กล่าวแล้ว ราเอคโตไมคอร์ไรซายังสามารถแก่งแย่งกับเชื้อโรคในดินได้ โดยการ
ใช้คาร์โบไฮเดรต และสารเคมีอื่น ๆ ที่ถูกขับออกมาโดยรากขณะที่อาศัยอยู่ร่วมกัน เท่ากับเป็นการ
ลดปริมาณของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อโรคในดินลง

1.3 การดูดซับความชื้น เส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซาที่แผ่กระจายลงไปในดินทุกทิศ
ทาง นอกจากจะช่วยในการดูดธาตุอาหารแล้ว ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำของรากด้วย ราก
เอคโตไมคอร์ไรซา จะมีความยาว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่ารากของพืชทั่วไป ช่วยเพิ่ม
พื้นที่ในการดูดซึมถึงร้อยละ 26-86 (Hadie & Leytonn, 1981) แผ่นแมนเทิลของราจะทำหน้าที่
เสมือนฟองน้ำที่ดูดซับความชื้นไว้ Duddrige และคณะ (1980) พบว่า Rhizomorph ของราเอคโต
ไมคอร์ไรซา *Suillus bovinus* (L. :Fr.) O. Kuntze สามารถทำหน้าที่ลำเลียงน้ำซึ่งอยู่ในรูปของสาร
กัมมันตภาพรังสี $^3\text{H}_2\text{O}$ จากรากของกล้าสน *Pinus sylvestris* L. ได้ Foster (1981) อธิบายว่าเส้นใย
ของราเอคโตไมคอร์ไรซา ที่รวมกันเป็น Rhizomorph นี้ จะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลล์ผนัง
หนา 2 ชั้น และมี Polysaccharide gel เป็นองค์ประกอบอยู่รอบ ๆ ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ
Jennifer และคณะ (1983) ยังพบว่า ในสภาพความชื้นในดินจำกัด รากเอคโตไมคอร์ไรซา จะมี
อัตราการระเหยน้ำต่ำกว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา

1.4 ความทนทานของต้นไม้ต่อความเป็นพิษของดิน ราเอคโตไมคอร์ไรซา ช่วยให้ราก
พืชมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเป็นพิษของดิน อุณหภูมิสูง โลหะ
หนัก หรือสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น Jones และ Hutchinsón (1988) พบว่ากล้าไม้ Birch ที่มี
เอคโตไมคอร์ไรซา สามารถเจริญในดินที่มี นิกเกิล (Ni) เป็นพิษอยู่สูงได้ ในขณะที่ Colpaert และ
Van Assche (1992) ระบุว่ากล้าสน *Pinus sylvestris* L. ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซา สามารถที่จะเจริญ
อย่างปกติในดินที่มี Zn เป็นพิษอยู่สูงได้เช่นกัน Denny และ Wilkins (1987) ระบุว่า ปริมาณของ
Zn ที่ดูดเข้าไป จะถูกสะสมไว้ในผนังเซลล์ของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่
จะถูกส่งลำเลียงไปยังพืช นอกจากนี้ Entry และคณะ (1994) ยังพบว่า กล้าสน *Pinus ponderosa*
Laws และ *Pinus radiata* D. Don. ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซา สามารถดูดซับสารกัมมันตภาพรังสี
Strontium-90 (^{90}Sr) จากดินได้ ในปริมาณที่มากกว่าต้นกล้าที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาถึง 3-5 เท่า

2 หน้าที่ยื่นในระบบนิเวศน์

2.1 การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการอนุรักษ์ ราเอคโตไมคอร์ไรซา นอกจากจะมี
บทบาทสำคัญต่อพืชแล้ว ยังมีความสำคัญในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ช่วยทำให้เกิดการหมุนเวียน
ของธาตุอาหารในดินป่าไม้ โดยเฉพาะธาตุ N, P และ K เมื่อราเอคโตไมคอร์ไรซาตายลงธาตุอาหาร
ทั้งหลายที่สะสมอยู่ภายในก็จะถูกปลดปล่อยกลับสู่ดิน (Harley & Smith, 1983)

Vogt และ Edmonds (1980) ศึกษาการสะสมของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ใน fruiting body ของราหลาย ๆ ชนิด รวมทั้งราเอคโตไมคอร์ไรซา ในป่าสน พบว่า fruiting body จะมีการสะสมธาตุ N, P และ K ได้มากกว่าเศษซากพืชที่ร่วงหล่นอยู่บนพื้นป่า ถึง 3, 2-7 และ 4-22 เท่า ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศน์

2.2 การเคลื่อนย้ายคาร์บอนสู่จุลินทรีย์อื่นในดิน คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในดิน การเจริญของจุลินทรีย์จะเป็นไปอย่างค่อนข้างช้าในสภาพของดินป่าไม้ ซึ่งมี ฮิวมัส เป็นองค์ประกอบสำคัญอยู่สูงถึงร้อยละ 80-90 ราเอคโตไมคอร์ไรซาจะมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายคาร์บอนจากรากพืชอาศัย คาร์บอนส่วนที่เหลือเกินความต้องการ จะถูกเคลื่อนย้ายสู่ดินโดยโครงข่ายของเส้นใยรา (mycelial network) เป็นการช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์อื่นในระบบนิเวศน์ได้ Soderstrom (1993) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซาจะช่วยเคลื่อนย้ายคาร์บอนที่เกินความต้องการสู่ดินได้ ในปริมาณ 200 กรัมต่อตารางเมตร ต่อปี

2.3 แหล่งอาหารสำหรับสัตว์นานาชนิด ราเอคโตไมคอร์ไรซา เป็นแหล่งอาหารของแมลง และสัตว์ขนาดเล็กในดิน อีกหลายชนิด เช่น Collembola Nematodes (Warnock et al., 1982) นอกจากนี้ Master และคณะ (1978) ยังตรวจพบชิ้นส่วน หรือสปอร์ของราเอคโตไมคอร์ไรซา ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็ก ถึงร้อยละ 79

3. คุณค่าต่อมนุษย์

3.1 แหล่งอาหารที่สำคัญ ราเอคโตไมคอร์ไรซาหลายชนิด สามารถนำมากินเป็นอาหารได้ ที่สำคัญเช่น เห็ดเผาะ (*Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg.), เห็ดระโงกเหลือง (*Amanita caesarea* Fr.), เห็ดระโงกขาว (*Amanita* sp.), เห็ดน้ำหมากหรือเห็ดแดง (*Russula sanguinea* Fr., *Russula lepida* Fr., *Russula emetica* (Scha. ex Fr.) Pers. ex S.F. Gray), เห็ดตะไคล (*Russula delica* Fr.), เห็ดหลังเขียว (*Russula virescens* Fr.), เห็ดตับเต่า (*Boletus edulis* Bull.), เห็ดเสม็ดยูคา (*Tylopilus rufo-brunneus*) (อนิวรต, 2539) Marx และคณะ (1992) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Tuber melanosporum* หรือ *Tuber ucinatum* ที่เพาะร่วมกับไม้ *Quercus spp.* สามารถผลิตดอกเห็ด Truffle สำหรับเป็นอาหาร ได้ภายใน 3-5 ปี ซึ่งราคาขายของเห็ดชนิดนี้มีราคาสูง ประมาณกิโลกรัมละ 20,000-28,000 บาท (Walsh, 1996)

3.2 สีย้อม ดอกเห็ด หรือ Fruiting body ของราเอคโตไมคอร์ไรซานานาชนิด นอกจากจะเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญแล้ว ยังสามารถนำมาสกัดสีย้อมได้หลากหลายสี เช่น สีแดงหรือสีชมพู สามารถสกัดได้จากดอกเห็ดของราเอคโตไมคอร์ไรซาในสกุล *Cortinarius*, สีส้ม สามารถสกัดได้

จากดอกเห็ดของราเอกโตไมคอร์ไรซา *Boletus edulis* Bull., สีสน้ำตาลหรือดำสามารถสกัดได้จากดอกเห็ดของราเอกโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. เป็นต้น (Rice & Beebee, 1980)

3.3 ตัวชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อม ราเอกโตไมคอร์ไรซา เป็นตัวชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ ถ้าที่ใดมีราเอกโตไมคอร์ไรซาหลากหลายชนิดแสดงว่ามีระบบป่าที่สมบูรณ์ แต่ที่ใดมีราเอกโตไมคอร์ไรซาน้อยชนิด แสดงว่าท้องที่นั้นมีการทำลายป่ามาก และมีมลพิษสูง Arnold (1988) รายงานว่า การเกิดสภาวะฝนกรด มีผลต่อการลดลงของจำนวนชนิดราเอกโตไมคอร์ไรซา ในป่าสนเขตอบอุ่น ขณะที่ Fellner และ Peskova (1995) ระบุว่าความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศป่าไม้ เนื่องจากมลพิษทางอากาศในระดับที่รุนแรงมาก มีผลทำให้ความหลากหลายในชนิดของราเอกโตไมคอร์ไรซาลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 20 ในขณะที่ราในกลุ่ม lignicolous จะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 55

การทำห้วเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตของป่า

เนื่องจากประโยชน์ของราเอกโตไมคอร์ไรซาดังกล่าว จะเห็นว่ามีควมจำเป็นอย่างยิ่งในการเพาะราเอกโตไมคอร์ไรซา ให้กับกล้าไม้ก่อนย้ายนำไปปลูก ในพื้นที่ที่ขาดราเอกโตไมคอร์ไรซา โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าที่ถูกบุกรุกทำลาย หรือป่าเสื่อมโทรม วิธีการที่นิยมใช้ในการเพาะราเอกโตไมคอร์ไรซา ให้กับกล้าไม้ในแปลงเพาะ มีดังต่อไปนี้

1. การใช้ดินเชื้อจากป่าธรรมชาติ (soil or humus containing natural inoculum)

วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิม ง่าย และสะดวกกับศูนย์เพาะชำที่ตั้งอยู่ใกล้ป่าธรรมชาติ หรือสวนป่า ที่มีราเอกโตไมคอร์ไรซาเจริญอยู่ในดินอยู่แล้ว Inoculum ชนิดนี้เตรียมได้โดยขุดดิน หรือฮิวมัส จากป่ามาผสมกับดินที่ใช้ในการเพาะชำ อัตราส่วนที่ใช้ประมาณ ร้อยละ 10- 20 (Mikola, 1973) ข้อเสียของวิธีนี้คือ ดินมีน้ำหนักมาก เมื่อต้องใช้ในปริมาณสูง ๆ ยุ่งยากกับการขนส่ง โดยเฉพาะการขนย้ายเป็นระยะทางไกล ๆ ไม่สะดวก นอกจากนี้ในดินอาจมีศัตรูพืช หรือโรคพืช ที่อาจทำอันตรายก่อให้เกิดความเสียหายแก่กล้าไม้ได้

2. การใช้สปอร์ (spore inoculum)

ราเอกโตไมคอร์ไรซาหลายชนิด เช่น *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. , *Rhizopogon* spp., *Scleroderma* spp., และ *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg. ผลิตสปอร์ได้ปริมาณมาก สปอร์ของราเอกโตไมคอร์ไรซาที่ทราบชนิดแล้ว สามารถนำมาคลุกเคล้ากับดินที่จะใช้เพาะ คลุกเคล้ากับเมล็ดก่อนนำไปเพาะ หรือฉีดพ่นให้กับกล้าไม้ก็ได้ (Marx et al., 1991) ในสหรัฐอเมริกา ได้

นำเอาสปอร์ของราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* มาเพาะให้กับกล้าสนในเรือนเพาะชำ และพบว่าสปอร์เพียง 1 มิลลิกรัม (1.1×10^6 สปอร์) สามารถใช้ได้ผลดี (Marx & Bryan, 1975; Marx et al., 1976; 1978; 1984 a,b; Marx, 1976) สปอร์ก่อนที่จะนำมาใช้ต้องร่อนด้วยตะแกรง ผึ่งให้แห้ง (ความชื้นประมาณ 18 %) แล้วเก็บไว้ในที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส จะช่วยให้เก็บไว้ได้นานหลายปี (Marx et al., 1991)

ข้อดีของ spore inoculum คือ ไม่ต้องนำสปอร์ไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเห็ด ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสม สามารถเก็บไว้ได้นาน ไม่ยุ่งยากในทางปฏิบัติ สะดวกในการขนย้าย แต่ก็มีข้อเสียคือ spore inoculum จะมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูงหากเก็บรวบรวมมาจากหลาย ๆ พื้นที่ หรือพืชอาศัยต่างชนิดกัน นอกจากนี้การเกิดเอกโตไมคอร์ไรซากับรากพืช ยังต้องใช้เวลาานกว่าการใช้เชื้อบริสุทธิ์ ถึง 4-6 สัปดาห์ (Marx et al., 1984a)

3. การใช้เชื้อบริสุทธิ์ (mycelial or vegetative inoculum)

วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน เพราะทำให้สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ราเอกโตไมคอร์ไรซาที่ดีได้ โดยการเลี้ยงเส้นใยจากเนื้อเยื่อดอกเห็ด หรือแยกราเอกโตไมคอร์ไรซาจากรากพืช แล้วนำไปขยายเพิ่มปริมาณโดยใช้ vermiculite กับ peat moss เป็นสับสเตรต และผสมอาหารเหลว Modified Melin-Norkrans (MMN) เลี้ยงนานประมาณ 3-4 เดือน ก่อนนำไปผสมดินเพาะให้กับกล้าไม้ (Marx & Kenny, 1982)

วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ การนำไปใช้กับศูนย์เพาะชำขนาดใหญ่ยังมีปัญหา เนื่องจากไม่สามารถผลิตหัวเชื้อที่บริสุทธิ์ได้ในปริมาณเพียงพอเหมาะที่จะใช้กับจำนวนกล้าไม้ประมาณ 10,000-20,000 ต้น เท่านั้น (Marx et al., 1992) นอกจากนี้ราเอกโตไมคอร์ไรซาบางชนิด ยังไม่สามารถเจริญได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ เช่น รา *Lactarius spp.*, *Cortinarius spp.*, *Russula spp.* และ *Gomphidius spp.* เป็นต้น (Molina & Palmer, 1982)

4. การผลิตหัวเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซาในทางการค้า

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการใช้เชื้อบริสุทธิ์ มาผลิตเป็นอุตสาหกรรมในเชิงการค้า ภายใต้การควบคุมของบริษัท Sylvan spawn laboratory ราเอกโตไมคอร์ไรซาที่นิยมใช้เป็นหัวเชื้อ และผลิตเป็นการค้า เพื่อใช้ในการปลูกป่าในต่างประเทศคือ *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch., *Hebeloma crustuliniforme* (Bull. ex St. Am.) Quel., *Laccaria bicolor* (R. Mre) Orton หัวเชื้อที่ผลิตขึ้นนี้ ใช้ในอัตราส่วน 1 ลิตร (ราคาประมาณ 285 บาทต่อลิตร) ต่อพื้นที่ 2.7 ตารางเมตร ก็มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำให้เกิดเอกโตไมคอร์ไรซากับรากพืช (Marx et al., 1992)

การคัดเลือกราเอโคโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ในการผลิตหัวเชื้อ

เนื่องจากโดยธรรมชาตินั้น ราเอโคโตไมคอร์ไรซาที่มีความสัมพันธ์กับรากพืชมีอยู่มากมาย หลายชนิด ราแต่ละชนิดก็จะมีผลต่อพืชอาศัยในทางที่แตกต่างกัน การคัดเลือกชนิดของรา หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสมให้กับพืชจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่ง

Trappe (1977) กล่าวว่า เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกราเอโคโตไมคอร์ไรซา หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสม นั้นจะแตกต่างกันไป แล้วแต่ความต้องการ ซึ่งอาจจะพิจารณาจาก อัตราการเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ, ความสามารถในการดูดซึมธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช, ความทนทานต่อความเป็นพิษของดิน, ความจำเพาะเจาะจงกับพืชอาศัย (host specificity), ความชื้น, อุณหภูมิ, ความเป็นกรดต่าง (pH) หรือความสามารถในการผลิตดอกเห็ดเพื่อใช้เป็นอาหาร ในระหว่างปัจจัยเหล่านี้ อุณหภูมิ และ pH เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญของราเอโคโตไมคอร์ไรซา ราเอโคโตไมคอร์ไรซา หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสมนั้น ควรจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิ และ pH ของดินหรือสับเสตรตในเรือนเพาะชำ และพื้นที่ปลูกได้เป็นอย่างดี

Marx และคณะ (1992) กล่าวว่า ราเอโคโตไมคอร์ไรซา ที่ได้รับคัดเลือกว่าเหมาะสมนั้นควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. สามารถเกิดรากเอโคโตไมคอร์ไรซาจำนวนมากกับพืชที่ต้องการ หรือกับพืชหลาย ๆ ชนิด
2. สามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในอาหารเลี้ยงเชื้อ และมีความทนทานต่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ
3. ในสภาพหัวเชื้อเส้นใย (inoculum) สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้เป็นเวลานาน ๆ หลายสัปดาห์ และสิ่งสำคัญประการสุดท้ายคือ
4. สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพทางนิเวศน์ของแต่ละพื้นที่ได้

การเลือกราเอโคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* เพื่อใช้ในการผลิตหัวเชื้อ

ราเอโคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. จัดอยู่ใน Class Holobasidiomycetes, Series Gasteromycetes, Order Sclerodermatales, (Kendrick, 1992 อ้างใน Brundrett et al., 1996) สามารถพบได้ในเขตร้อน และเขตอบอุ่น ทุกภาคพื้นทวีป รวม 33 ประเทศ ทั่วโลก (Marx, 1977) สามารถขึ้นได้ในสภาพพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ดินเป็นกรดจัด ดินที่มีการพังทลายสูง ดินเหมืองแร่ ดินเหมืองถ่านหิน ดินที่มีความเป็นพิษของ Mg และ Al สูง เป็นต้น (Marx & Ruehle, 1988)

ราเอโคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* เหมาะสมสำหรับที่จะเพาะให้กับกล้าไม้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับกล้าไม้สน และไม่ไวแก่มากกว่า 70 ชนิด (Marx, 1977) สามารถแยกเส้นใยบริสุทธิ์จากเนื้อเยื่อได้ง่าย และเจริญได้ดีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แม้อุณหภูมิสูงถึง 40-42 องศาเซลเซียส ก็ยัง

เจริญได้ (Momoh & Gbadegesin, 1980) นอกจากนี้เมื่อเกิดเอคโตไมคอร์ไรซากับรากพืชแล้ว จะสามารถสังเกตเห็น และตรวจประเมินได้ง่าย ๆ เนื่องจากเส้นใยจะมีสีน้ำตาลทอง (Golden brown or Mustard) เต็มซัด ในประเทศไทย อนิวรต (2525) รายงานว่า สามารถพบรา *P. tinctorius* อยู่ร่วมกับรากไม้สนสองใบ สนสามใบ สนคาริเบีย และไม้ก่อกชนิดต่าง ๆ ทางภาคเหนือ ภาคตะวันออก เฉียงเหนือ และภาคกลางของประเทศ

ลักษณะทั่วไปของเห็ด *Pisolithus tinctorius*

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch.

Pisolithus arhizus (Pers.) Rausch.

Pisolithus arenarius A. & S.

ชื่อสามัญ Dyemaker 's false, Stone puffball, Puffball, Bohemian truffle, Dead man ' s foot, เห็ดก้อนกรวด, เห็ดดินแดง

ชื่อวงศ์ Sclerodermataceae

ดอกเห็ด *P. tinctorius* มีขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 – 10 เซนติเมตร สูงประมาณ 8 – 25 เซนติเมตร เห็ดดอกอ่อนมีรูปร่างค่อนข้างกลม หรือรูปร่างคล้ายลูกแพร์ (pear-shaped) หรือกระบอง (club-shaped) ผิวด้านนอกของดอกเห็ดมีสีน้ำตาล หรือน้ำตาลแกมเหลือง ค่อนข้างเหนียว และหนาค่อนข้างหนา ชั้นในของดอกเห็ดแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของสปอร์ และส่วนของ Peridioles สปอร์มีรูปร่างกลม สีน้ำตาล ขนาด 7 – 11.5 ไมโครเมตร (Jordan, 1995) เมื่อดอกเห็ดแก่ ผิวด้านนอกตรงส่วนบนของดอกจะแตก และหลุดร่อนออก เพื่อให้สปอร์ของดอกเห็ดฟุ้งกระจายออกมา ดอกเห็ดชนิดนี้ไม่รับประทานเป็นอาหาร

ลักษณะทั่วไปของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*)

ชื่อพฤกษศาสตร์

Eucalyptus camaldulensis Dehnh.

ชื่อสามัญ

River red gum, Red gum, River gum และ Murray red gum

ชื่อวงศ์

Myrtaceae

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส เป็นพันธุ์ไม้ต่างประเทศชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดเป็นไม้โตเร็ว มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในออสเตรเลีย ขึ้นกระจายในอาณาบริเวณกว้างขวาง กว่าไม้ยูคาลิปตัสชนิดอื่น พบได้ในเขตร้อน และเขตอบอุ่นของประเทศออสเตรเลีย ในทุกรัฐ ยกเว้นรัฐทัสมาเนีย ระหว่างเส้นรุ้งที่ 12-38 องศาใต้ และเส้นแวงที่ 112-152 องศาตะวันออก (ธนิธ และประสิทธิ์, 2525)

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส เป็นไม้ยืนต้นขนาดสูงปานกลางถึงขนาดใหญ่ ปกติมีความสูงประมาณ 24-37 เมตร แต่บางต้นอาจสูงถึง 50 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกประมาณ 2 เมตร ขึ้นได้ดีในพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 30-230 เมตร แต่บางครั้งก็พบว่า สามารถขึ้นได้ในพื้นที่ริมทะเล หรือในที่สูง ประมาณ 600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ขึ้นอยู่ได้ประมาณ 250-625 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 29-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 11-20 องศาเซลเซียส แต่ในบางครั้งอาจขึ้นได้ ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำสุดถึง -6 องศาเซลเซียส และสูงสุด 54 องศาเซลเซียส (FAO, 1981)

สำหรับลักษณะดินนั้น พบว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส ขึ้นได้ในพื้นที่ที่เป็นดินทราย ดินที่มีดินเหนียวในปริมาณสูง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินที่มีน้ำท่วมขัง หรือดินเหมืองแร่ ยกเว้นดินหินปูน ส่วนลักษณะดินที่เหมาะสมคือ ดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี (National Academy of Science, 1980)

ในบรรดาไม้ยูคาลิปตัสด้วยกัน ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส เป็นไม้ที่มีผู้นิยมนำไปปลูกแพร่หลายมากที่สุดในโลก กล่าวคือทั่วโลกมีพื้นที่ปลูกประมาณ 500,000 เฮกแตร์ (National Academy of Science, 1980)

การใช้ประโยชน์ กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ (2530) รายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของเนื้อไม้ และการใช้ประโยชน์ไว้ว่า แก่นไม้มีสีน้ำตาล กระพี้สีน้ำตาลอ่อน สีของเนื้อไม้เข้มขึ้นตามอายุ มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 800-1200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่ออายุ 20 ปี ไม้อายุ 3 ปีสามารถใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษได้

ลักษณะการใช้ประโยชน์แบ่งเป็น ประโยชน์ในการก่อสร้าง ใช้ทำโครงสร้างของอาคาร ทำเสา เสาเข็ม ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ผลิตกระดาษเหนียว กระดาษพิมพ์ และกระดาษเขียน ประโยชน์ด้านพลังงานเชื้อเพลิง ใช้ทำฟืน และถ่านไม้ เนื่องจากให้ค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไม้โกงกางใบเล็ก ประโยชน์อื่น ๆ เช่น ทำไม้หมอนรถไฟ ทำเครื่องมือกลึงกรรม เป็นต้น

ลักษณะทั่วไปของไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya*)

ชื่อพฤกษศาสตร์	<i>Pinus khasya</i> Roye ชื่อพ้อง <i>Pinus kesiya</i> Royle ex Gordon
ชื่อสามัญ ชื่อพื้นเมือง	สนสามใบ สนเขา (กลาง) เกี้ยวเปลือกบาง เกี้ยวเปลือกแดง(เชียงใหม่) จ้วง (เหนือ อีสาน)
ชื่อการค้า	Khasia pine
ชื่อวงศ์	Pinaceae
อันดับ	Coniferales

สนสามใบเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ความสูงประมาณ 15- 35 เมตร เมื่อโตเต็มที่อายุ 80- 90 ปี จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก 22-65 เซนติเมตร เปลือกนอกสีน้ำตาลแกมแดง หรือน้ำตาลอมชมพูอ่อน ๆ ล่อนเป็นสะเก็ดแบบร่างแห ความหนาของเปลือก 2.5 –3.5 เซนติเมตร เปลือกในสีน้ำตาลแดง กระพี้สีเหลืองอ่อน แก่นสีน้ำตาลอ่อนหรือสีเหลือง

ใบ สนสามใบมีจำนวน 3 ใบ รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า fascicle (fasciculate) แต่ละกลุ่มใบมีกาบหุ้มกลุ่มใบ (sheath) กลุ่มใบจะหนาแน่นอยู่บริเวณปลายกิ่ง ใบโตเต็มที่จะมีความยาวประมาณ 10–25 เซนติเมตร ดอกมี 2 ชนิด คือ male cone และ female cone ผลเป็นรูปกรวยคว่ำ เมล็ดรูปไข่ สีน้ำตาลไหม้ และมีจุดสีขาวบนเปลือกเมล็ด ตรงกึ่งกลางเมล็ดจะงอกออกมาทั้งสองด้าน สนสามใบจะเติบโตได้ดีในดินร่วน หรือดินร่วนปนทรายความสมบูรณ์ต่ำ ขึ้นในบริเวณที่มีอากาศอบอุ่น ความสูงต่ำสุดจะอยู่ในเขตร้อนชื้น ระดับความสูงจากน้ำทะเล 350-2,500 เมตร ขึ้นไป แต่ส่วนใหญ่พบว่าอยู่ในระดับความสูงเกิน 1,000 เมตร สนสามใบจะพบขึ้นปะปนกับสนสองใบในป่าสนเขา แต่ในป่าที่ค่อนข้างจะสูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000-1,600 เมตร พบสนสามใบขึ้นในที่ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากกว่าสนสองใบ หรือขึ้นเฉพาะสนสามใบล้วน ๆ มีในภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ ลำพูน สุโขทัย แม่ฮ่องสอน ภาคกลางในจังหวัด พิจิตร โลก เพชรบูรณ์ แต่มีน้อยกว่าทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีในจังหวัด เลย ศรีสะเกษ (สมนึก, 2534; ระพีพรรณ, 2536) สนสามใบมีประโยชน์ทั้งเนื้อไม้ และน้ำมันสน เนื้อไม้ใช้ในการก่อสร้าง ทำเฟอร์นิเจอร์ เยื่อกระดาษเส้นใยยาว น้ำยางจากลำต้น (resin) กลั่นได้น้ำมันสน (rude terpentine oil) และชันสน (rossin) น้ำมันใช้ผสมยา ผสมสี ทำสบู่ ส่วนชันใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ผ้าสี ผ้ามืด น้ำมันชักเงา (vanish) กาว เป็นต้น ในทางธรรมชาติ สนเป็นไม้ที่นำมาปลูกเพื่อการอนุรักษ์ หรือสร้างสวนป่า โดยเฉพาะในพื้นที่สูง ที่เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร เนื่องจากมีระบบรากที่ดี สามารถเกาะยึดดินไว้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

1. สืบรวจเก็บตัวอย่างเห็ด *Pisolithus tinctorius* จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย

สำรวจและเก็บตัวอย่าง เห็ด *P. tinctorius* จากแหล่งต่าง ๆ ในธรรมชาติ ทั้งในป่าสนเขา และสวนป่ายูคาลิปตัส ในพื้นที่ 20 จังหวัด (ภาพที่ 3) ของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก ระหว่างช่วงฤดูฝนของแต่ละปี ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงกันยายน 2539 และระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงกันยายน 2540 ลักษณะดอกเห็ดมีสีแตกต่างกัน ตั้งแต่สีเบจ (beige) จนถึงสีน้ำตาล (mustard) (Rice & Beebe, 1980) ดอกเห็ด *P. tinctorius* ที่พบในป่าสน (ภาพที่ 4) จะมีสีค่อนข้างเข้มกว่าดอกเห็ด *P. tinctorius* ที่พบในสวนป่ายูคาลิปตัส (ภาพที่ 5) พบว่าดอกเห็ด *P. tinctorius* ไม่มีก้านดอกที่แท้จริง ความสูงวัดจากฐานถึงปลายดอก ประมาณ 2-20 เซนติเมตร (ภาพที่ 6) เส้นรอบวงของดอกวัดได้ประมาณ 7- 44 เซนติเมตร เมื่อตัดดอกเห็ดตามยาวจะเห็นลักษณะเป็นชั้น 2 ชั้น ประกอบด้วยชั้นของสปอร์ มีลักษณะคล้ายเม็ดแคปซูล (seedlike capsule) เชื่อมติดกันด้วยสารเหนียวสีดำ และชั้นของ Peridioles (ภาพที่ 6) สปอร์มีรูปร่างค่อนข้างกลม สีน้ำตาล ผ่นขรุขระเป็นหนาม (spiny) ขนาดของสปอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8.46 ไมโครเมตร (ภาพที่ 7)

2. การแยกเส้นใยราเอโคโตไมคอร์ไรซ่าจากดอกเห็ด *P. tinctorius* ให้ได้เส้นใยที่บริสุทธิ์

แยกเนื้อเยื่อจากดอกเห็ดที่เก็บได้ในข้อ 1 เลือกเห็ดดอกอ่อนที่มีสภาพสมบูรณ์ ไม่มีรอยฉีกขาด ใช้เข็มเย็บที่ทนไฟฆ่าเชื้อแล้ว เชียเนื้อเยื่อที่อยู่ภายใน นำไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Modified Melin-Norkrans (MMN) (Molina & Palmer, 1982) ในจานเลี้ยงเชื้อ โดยมี pH ประมาณ 5.7-5.8 และผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อความดันไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (24-25 องศาเซลเซียส) ประมาณ 3-4 สัปดาห์ ทำการ subculture จนกระทั่ง ได้เส้นใยของราที่บริสุทธิ์ ตรวจยืนยันความบริสุทธิ์ของเส้นใยที่แยกได้ โดยเชียเส้นใยของรา ลงบนแผ่นสไลด์ ย้อมด้วย Lactophenol cotton blue ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยดูลักษณะพิเศษของราในกลุ่ม Basidiomycetes คือ เส้นใยมี Clamp connection และไม่สร้างสปอร์ เพาะขยายเส้นใยบริสุทธิ์ที่ได้เพื่อใช้ในการศึกษารุ่นต่อไป

จากการสำรวจเก็บตัวอย่างเห็ด *P. tinctorius* ที่รวบรวมได้ เมื่อนำมาแยกเส้นใยจากเนื้อเยื่อเห็ดด้วยวิธีดังกล่าว สามารถแยกเส้นใยได้เส้นใยที่บริสุทธิ์ จำนวนทั้งสิ้น 14 สายพันธุ์ (ภาพที่ 8 และตารางที่ 3) แต่มีบางสายพันธุ์ที่ไม่สามารถแยกเส้นใยที่บริสุทธิ์ของเห็ด *P. tinctorius* บางสายพันธุ์ได้ เนื่องจากมีอัตราการเจริญช้ามาก จนทำให้มีการปนเปื้อนของราชนิดอื่น ทั้ง 14 สายพันธุ์นี้ จะนำไปใช้ทดสอบในการทดลองขั้นต่อไป



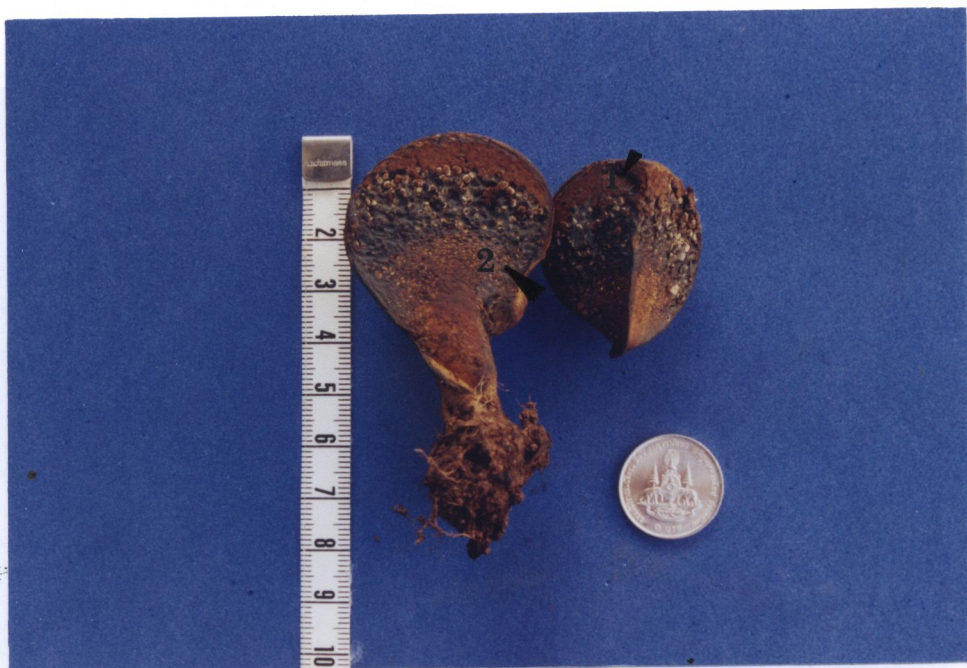
ภาพที่ 3. การกระจายของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* ในประเทศไทย สํารวจเก็บตัวอย่างระหว่างปี พ.ศ. 2539-2540



ภาพที่ 4. ลักษณะของดอกเห็ด *P. tinctorius* ที่ขึ้นอยู่ในป่าสนเขาธรรมชาติ



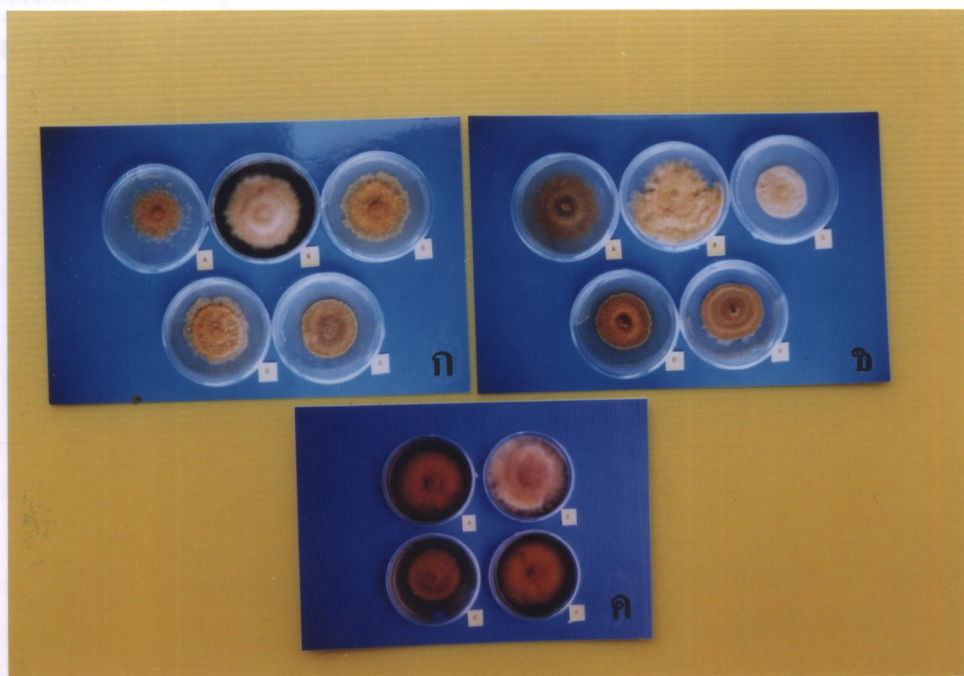
ภาพที่ 5. ลักษณะของดอกเห็ด *P. tinctorius* ที่ขึ้นอยู่ในสวนป่ายูคาลิปตัส



ภาพที่ 6. ลักษณะภายในของดอกเห็ด *P. tinctorius* เมื่อผ่าตามยาวแสดงชั้นของสปอร์ (หัวลูกศร 1) และ Peridioles (หัวลูกศร 2)



ภาพที่ 7. ลักษณะของสปอร์รา *P. tinctorius* เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ ภาพขยาย 2000 เท่า



ภาพที่ 8. ลักษณะการเจริญของรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ที่แยกได้ เส้นใยบริสุทธิ์ บนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MMN ระยะเวลา 2-3 สัปดาห์

- ก) A คือสายพันธุ์ที่ 1, B คือสายพันธุ์ที่ 2, C คือสายพันธุ์ที่ 3, D คือสายพันธุ์ที่ 4, E คือสายพันธุ์ที่ 5
 ข) A คือสายพันธุ์ที่ 6, B คือสายพันธุ์ที่ 7, C คือสายพันธุ์ที่ 8, D คือสายพันธุ์ที่ 9, E คือสายพันธุ์ที่ 10
 ค) A คือสายพันธุ์ที่ 11, B คือสายพันธุ์ที่ 12, C คือสายพันธุ์ที่ 13, D คือสายพันธุ์ที่ 14

ตารางที่ 3 สายพันธุ์ราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ที่สามารถแยกได้เส้นใยที่บริสุทธิ์

สายพันธุ์ที่	พืชอาศัย	แหล่งที่อยู่	ปีที่แยกเชื้อ
1	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส ต.ตาตทอง อ.เมือง จ.ยโสธร	2539
2	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์	2539
3	<i>P. kesiya</i>	ป่าสนเขา อ.ซอด จ.เชียงใหม่	2539
4	<i>P. kesiya</i>	ป่าสนเขา อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่	2539
5	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.สิรินธร จ.อุบลราชธานี	2539
6	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี	2539
7	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์	2539
8	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.สามง่าม จ.พิจิตร	2539
9	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท	2539
10	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส อ.นิคมคำสร้อย จ.มุกดาหาร	2539
11	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส ต.ทุ่งแต้ อ.เมือง จ.ยโสธร	2539
12	<i>E. camaldulensis</i>	สวนป่ายูคาลิปตัส ศูนย์ฝึกอบรมการป่าไม้ อ.เมือง จ.ตาก	2539
13	<i>P. kesiya</i>	ป่าสนเขา อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว อ.น้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์	2540
14	<i>P. kesiya</i>	ป่าสนเขา อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว อ.น้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์	2540

ตารางที่ 4 ลักษณะการเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MMN ของราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ ที่สามารถแยกได้เส้นใยที่บริสุทธิ์

สายพันธุ์ที่	ลักษณะการเจริญ
1	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ โคโลนีค่อนข้างกลม เส้นใยไม่ฟู ลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง
2	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ โคโลนีค่อนข้างกลม เส้นใยฟูเล็กน้อย สีน้ำตาล สีของอาหารเลี้ยงเชื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเข้ม เมื่อมีการเจริญมากขึ้น
3	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ ไม่ฟู โคโลนีค่อนข้างกลม ลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง
4	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ ไม่ฟู โคโลนีค่อนข้างกลม ลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง
5	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ เส้นใยไม่ฟู มีลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาล โคโลนีค่อนข้างกลม ขอบโคโลนีเรียบ
6	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ โคโลนีค่อนข้างกลม ขอบโคโลนีเรียบ ลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง
7	เส้นใยสีเหลืองเจริญแผ่กระจายทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ เส้นใยฟูบ้างเล็กน้อย
8	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบบนผิวอาหาร โคโลนีค่อนข้างกลม เส้นใยสีเหลือง ฟูบ้างเล็กน้อย
9	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ ไม่ฟู ขอบโคโลนีเรียบ ลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง
10	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ บาง ไม่ฟู ขอบโคโลนีเรียบ ลักษณะคล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง
11	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ คล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ สีของอาหารเลี้ยงเชื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเข้ม เมื่อเส้นใยมีการเจริญมากขึ้น
12	เส้นใยเจริญแผ่กระจายทั่วผิวหน้าอาหาร เส้นใยสีเหลืองฟูบ้างเล็กน้อย สีของอาหารเลี้ยงเชื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเข้ม เมื่อเส้นใยมีการเจริญมากขึ้น
13	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ คล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู สีของอาหารเลี้ยงเชื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเข้ม เมื่อเส้นใยมีการเจริญมากขึ้น
14	เส้นใยเจริญแผ่แบนราบ คล้ายแผ่นหนังสือน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู สีของอาหารเลี้ยงเชื้อจะเปลี่ยนเป็นสีเข้ม

3. การทดสอบเปรียบเทียบอัตราการเจริญของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ที่แยกได้ เพื่อคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการจะนำไปทำหัวเชื้อ

3.1 การเตรียมหัวเชื้อ (inoculum) เพื่อใช้ทดสอบ

โดยเลี้ยงเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ บนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MMN เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ตัดชิ้นวันที่มีเส้นใยรา *P. tinctorius* บริเวณขอบรอบนอกของโคโลนีที่มีการเจริญดี ด้วยเครื่องเจาะจุกคอร์ก (cork borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จะได้น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 5.55 มิลลิกรัมต่อชิ้น เพื่อให้ได้หัวเชื้อมาตรฐาน

3.2 เปรียบเทียบทดสอบการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* โดยการแปรผันปัจจัยด้านอุณหภูมิ

ใช้เข็มเย็บเชื้อ ตักชิ้นวันหัวเชื้อ ในข้อ 3.1 ย้ายลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที ปั่นเชื้อที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ในตู้บ่มเชื้อ (incubator) เป็นระยะเวลา 30 วัน วัดผลการทดลองโดยการกรองเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยใช้เครื่องปั๊ม (vacuum pump) แล้วนำเส้นใยไปอบแห้งที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใน desicator นำมาชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักแห้งคงที่ ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ในแต่ละชุดการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) (ภาคผนวก ข) นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SigmaStat เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's new multiple-range test (DMRT) เพื่อหาระดับของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สังเกตลักษณะเจริญ และการพัฒนาของเส้นใย เช่น ลักษณะโคโลนี, การสร้าง aerial mycelium, สีของเส้นใย, การเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.3 เปรียบเทียบทดสอบการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* โดยการแปรผันปัจจัยความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN แล้วปรับ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อเป็น 3, 5, 6 ด้วยกรดซัลฟริก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล (1 N H_2SO_4) และ pH 7,9 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มัล (1 N NaOH) บรรจุลงในขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร ขวดละ 50 มิลลิลิตร นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที เมื่ออาหารเย็นลง ใช้เข็มเย็บเชื้อตักชิ้นวันหัวเชื้อ ดังข้อ 3.1 ย้ายลงในอาหาร บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 °C ตามผลการทดลองข้อจากข้อ 3.2 เป็นระยะเวลา 30 วัน เปรียบเทียบอัตราการเจริญของเส้นใย เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.2 เพื่อหาระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ สังเกตลักษณะการเจริญและการพัฒนาของเส้นใย เช่น ลักษณะของโคโลนี สีของเส้นใย การเปลี่ยนสีของอาหาร และการเปลี่ยนแปลงของ pH

4. ทดสอบการสร้างเอคโตไมคอร์ไรซาของรา *P. tinctorius* และเปรียบเทียบอัตราการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ที่มีการใส่หัวเชื้อเส้นใยรา และชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยราซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ

4.1 การเตรียมหัวเชื้อเส้นใย (pure mycelial inoculum) รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ คัดเลือกสายพันธุ์รา *P. tinctorius* ที่มีการเจริญดี มาทำการเพิ่มจำนวนเส้นใย ด้วยการเพาะเลี้ยงในวัสดุผสมเวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และดินพรุ (peat) (Marx et al., 1984a) โดยหาอัตราส่วนผสมทั้งสอง เพื่อให้ได้ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยรา บรรจุวัสดุตั้งกล้างในขวดทดลองขนาด 1,000 มิลลิลิตร ผสมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่มี pH เหมาะสมตามผลการทดลองที่ได้ในข้อ 3.3 ในอัตราส่วนวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื้อ ต่ออาหารเลี้ยงเชื้อ 2 : 1 โดยปริมาตร นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้ง โดยทิ้งช่วงเวลาในการนึ่งครั้งที่ 2 ห่างจากครั้งแรก นาน 24 ชั่วโมง ใส่รา *P. tinctorius* ที่คัดเลือก ซึ่งเลี้ยงในอาหาร MMN ที่มีระดับอุณหภูมิ และ pH ที่เหมาะสม เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ลงในวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื้อ ดังกล่าว บ่มเชื้อที่อุณหภูมิที่เหมาะสมตามผลการทดลองที่ได้จากข้อ 3.1 เป็นเวลาประมาณ 3-4 เดือน เมื่อจะนำมาใช้ ให้ล้างอาหารเลี้ยงเชื้อออกจากหัวเชื้อ ด้วยน้ำสะอาด กรองด้วยผ้าขาวบาง บีบเอาน้ำออกให้หมด พร้อมทั้งจะนำไปผสมกับวัสดุที่ใช้ปลูกต่อไป

4.2 การเตรียมเมล็ดไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส

4.2.1 การคัดเลือกเมล็ดสนสามใบ และยูคาลิปตัสเพื่อนำมาใช้ทดสอบ นำเมล็ดไม้ทั้ง 2 ชนิด มาแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง คัดเมล็ดที่ลอยน้ำทิ้งไป เก็บเมล็ดที่จมน้ำไว้ทำการทดลองต่อไป

4.2.2 การฆ่าเชื้อที่ผิวของเมล็ด นำเมล็ดที่เก็บได้จากข้อ 4.2.1 มาฆ่าเชื้อที่ผิว โดยแช่ในเอทานอล เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3-5 นาที จากนั้นฆ่าเชื้อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 และ 30 นาที สำหรับเมล็ดไม้ยูคาลิปตัส และสนสามใบ ตามลำดับ ล้างด้วยน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง (Brundrett et al., 1996)

4.3 การเตรียมวัสดุที่จะใช้ในการเพาะกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส

4.3.1 การเตรียมภาคเพาะชำ นำภาคเพาะชำทรงสูง แบบหลุม ขนาด 9×14×7 นิ้ว ชนิด 24 หลุม มาฆ่าเชื้อที่บริเวณผิวของภาคเพาะ โดยล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วใช้เอทานอล เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เช็ดให้ทั่วด้านในของภาคเพาะ

4.3.2 การเตรียมวัสดุที่ใช้เพาะ นำทรายผสมกับขุยมะพร้าว เปลือกถั่ว และหน้าดินจาก สวนป่ายูคาลิปตัส (top soil) ด้วยอัตราส่วน 2:1:1 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (pH ของวัสดุที่ใช้เพาะเท่ากับ 6.0) ซึ่งได้ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผสมคลุกเคล้ากับหัวเชื้อเส้นใย ที่เตรียมได้จากข้อ 4 ด้วยอัตราส่วน 8:1 โดยปริมาตร (สมบุญ, 2533) บรรจุลงในภาคเพาะชำแบบหลุมที่ได้เตรียมไว้ในข้อ 4.3.1 เตรียมชุดการทดลองควบคุม โดย

ใช้หัวเชื้อเส้นใยของ *P. tinctorius* ที่เตรียมไว้ในข้อ 4.1 มาหนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผสมกับดินเพาะที่เตรียมได้ข้างต้น นำเมล็ดไม้ที่เตรียมไว้ในข้อ 4.2.2 มาหยอดลงในวัสดุเพาะในหลุมภาตเพาะชำ โดยใส่หลุมละ 2-3 เมล็ด สำหรับสนสามใบ และหลุมละ 3-5 เมล็ด สำหรับยูคาลิปตัส ใช้การทดลองแบบ Randomized complete block design (ภาคผนวก ข) แต่ละชุดการทดลองทำ 4 block

4.4 การดูแลรักษากล้าไม้ รดน้ำกล้าไม้ในกระถางทั้งหมด ให้ชุ่มพอประมาณ อย่าให้แฉะเกินไป ในตอนเช้า และเย็นอย่างสม่ำเสมอ จนกล้าอายุครบ 6 เดือน ซึ่งเสร็จสิ้นการทดลอง ใส่ปุ๋ยในโดรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในระดับปานกลาง (ภาคผนวก ก.) ทุก ๆ 2 สัปดาห์

4.5 การเก็บข้อมูล เปรียบเทียบหาอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ที่มีการใส่ราเอโคโตไมคอร์ไรซา และชุดควบคุมที่ใส่ราเอโคโตไมคอร์ไรซาซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ เมื่ออายุ 6 เดือน สุ่มถอนกล้าสนสามใบ และยูคาลิปตัสจากภาตเพาะชำ ชนิดละ 4 ต้น โดยวัด

4.5.1 ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น เมื่อกล้าไม้อายุครบ 6 เดือน

4.5.2 หามวลชีวภาพในแต่ละส่วนของกล้าไม้ แยกเป็นส่วนของลำต้น ใบ และรากของแต่ละต้น จากนั้นนำทั้ง 3 ส่วน ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้งเพื่อหามวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของกล้าไม้แต่ละต้นต่อไป

4.5.3 หาเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ (percent Infection) ของรา *P. tinctorius* ของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส โดยตัดรากออกเป็นชิ้น ให้มีความยาวประมาณชิ้นละ 1-1.5 เซนติเมตร ย้อมสีรากตามวิธีของ Phillips และ Hayman (1979) สุ่มชิ้นส่วนของรากที่ย้อมสีแล้วมา 50 ชิ้น วางบนแผ่นสไลด์ ครึ่งละ 5 ชิ้น นับจำนวนชิ้นส่วนของรากที่พบว่ามีเชื้อราเอโคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ของแต่ละชุดการทดลอง เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ

4.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโตของความสูงลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น อัตราส่วนระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น มวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของกล้าไม้ อัตราส่วนมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน ในแต่ละชุดการทดลองของกล้าไม้ และเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ *P. tinctorius* เมื่ออายุครบ 6 เดือน โดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) หากมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan 's new multiple-range test (DMRT)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius*

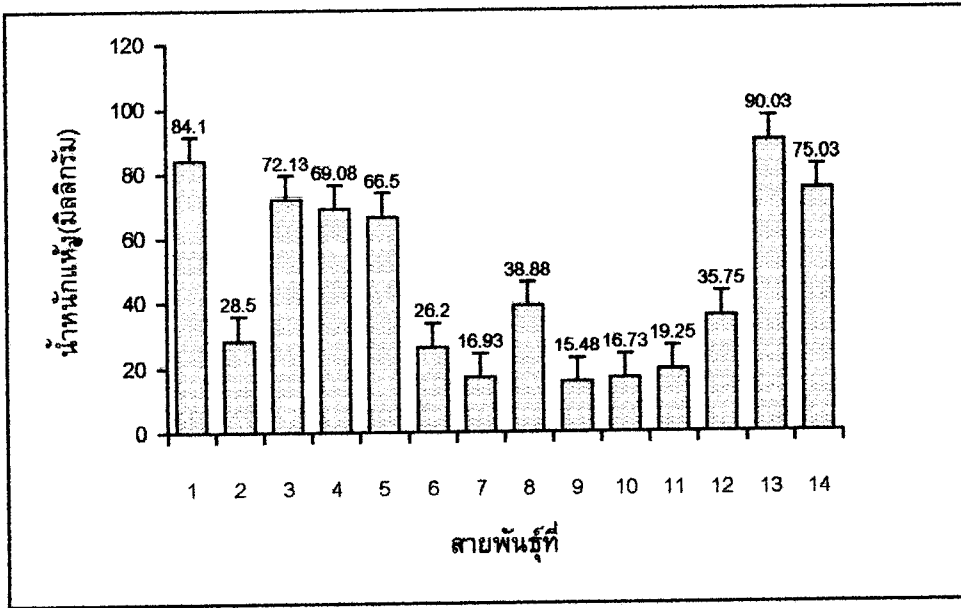
เมื่อเลี้ยงเส้นใยที่แยกได้จากเนื้อเยื่อเห็ด *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Modified Melin-Norkrans (MMN) ที่ระดับ pH ปกติ (5.7-5.8) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เก็บผลการทดลองเป็นน้ำหนักแห้งของเส้นใย จากการทดลองพบว่า การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* มีความแปรผันแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยแต่ละสายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 15.48-90.03 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ (ภาพที่ 9) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยแต่ละสายพันธุ์มีค่าตั้งแต่ 31.18-127.05 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ (ภาพที่ 10) ส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เส้นใยรา *P. tinctorius* ทุกสายพันธุ์ถูกยับยั้งการเจริญ แต่เส้นใยก็ยังมีชีวิตอยู่ เพราะเมื่อนำขวดเลี้ยงเชื้อกลับมาเลี้ยงไว้ที่อุณหภูมิห้อง (24-25 องศาเซลเซียส) จะพบว่าเส้นใยสามารถที่จะเจริญกลับคืนมาได้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งเส้นใย ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ จะให้ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=1047.592$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของเส้นใย โดยวิธี Duncan 's multiple range test (DMRT) ดังแสดงใน ตารางที่ 5 ปัจจัยระหว่างระดับอุณหภูมิ ปรากฏว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยสูงกว่าที่ 20 องศาเซลเซียส 75.42 และ 46.75 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามลำดับ

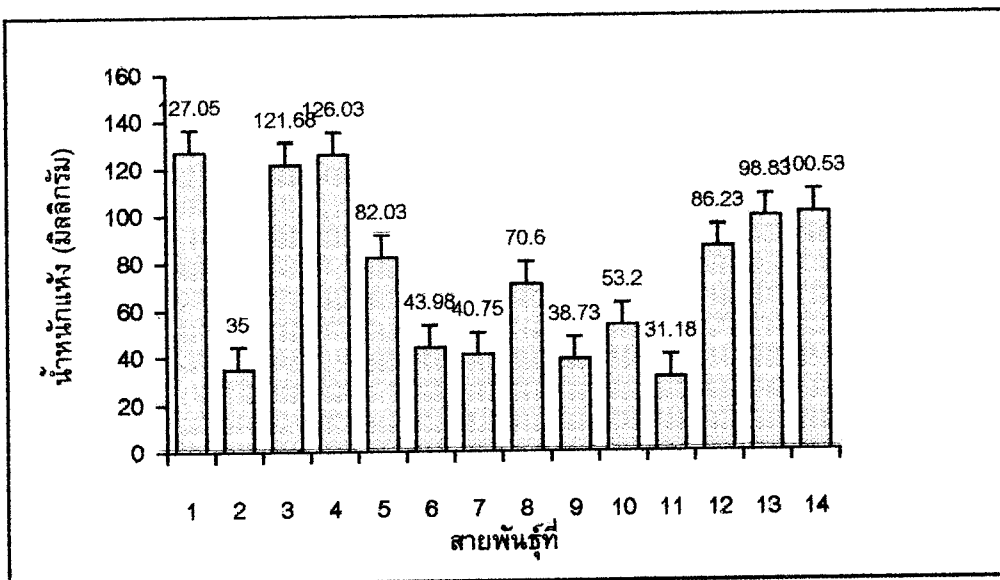
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติ เมื่อพิจารณาปัจจัยระหว่างสายพันธุ์ พบว่าค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งเส้นใยแต่ละสายพันธุ์จะให้ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=76.704$) สายพันธุ์ที่ให้ค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยสูงสุดคือ สายพันธุ์ที่ 1, 4, 3, และ 13 มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยคือ 72.23, 66.88, 66.45 และ 64.80 มิลลิกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทั้ง 4 สายพันธุ์ให้ค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของเส้นใย โดยวิธี DMRT

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของเส้นใย ต่อปัจจัยร่วมระหว่างสายพันธุ์ และอุณหภูมิ พบว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=23.263$) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สายพันธุ์ที่ 13, 1, 14, 3, 4, 5, 8, 12, 2, 6, 11, 7, 10, และ 9 มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเป็น 90.03, 84.10, 75.03, 72.13,

69.08, 66.50, 38.88, 35.75, 28.50, 26.20, 19.25, 16.93, 16.73, และ 15.48 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ที่ 13 และ 1 ให้ค่าน้ำหนักแห้งของเส้นใยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)



ภาพที่ 9. การเจริญทางน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (มิลลิลิตร) ของเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 10. การเจริญทางน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (มิลลิลิตร) ของเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

ตารางที่ 5 น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (มิลลิกรัม) ของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 20,30 และ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

สายพันธุ์ที่	อุณหภูมิ(°C)			ค่าเฉลี่ย ¹
	20	30	40	
1	84.10 ab	127.05 a	N.G.	72.23 a
2	28.50 ef	35.08 e	N.G.	23.04 f
3	72.13 bd	121.68 a	N.G.	66.45 abc
4	69.08 cd	126.03 a	N.G.	66.88 ab
5	66.50 cd	82.03 c	N.G.	51.36
6	26.20 ef	43.98 de	N.G.	25.24 f
7	16.93 f	40.75 de	N.G.	21.08 f
8	38.88 e	70.60 a	N.G.	38.34 e
9	15.48 f	38.73 de	N.G.	19.92 f
10	16.73 f	53.20 d	N.G.	25.16 f
11	19.25 f	31.18 e	N.G.	18.66 f
12	35.75 e	86.23 c	N.G.	42.51 e
13	90.03 a	98.83 b	N.G.	64.80 abcd
14	75.03 bc	100.53 b	N.G.	60.37 bcd
ค่าเฉลี่ย ²	46.75 ก	75.42 ข	-	

¹ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนอน

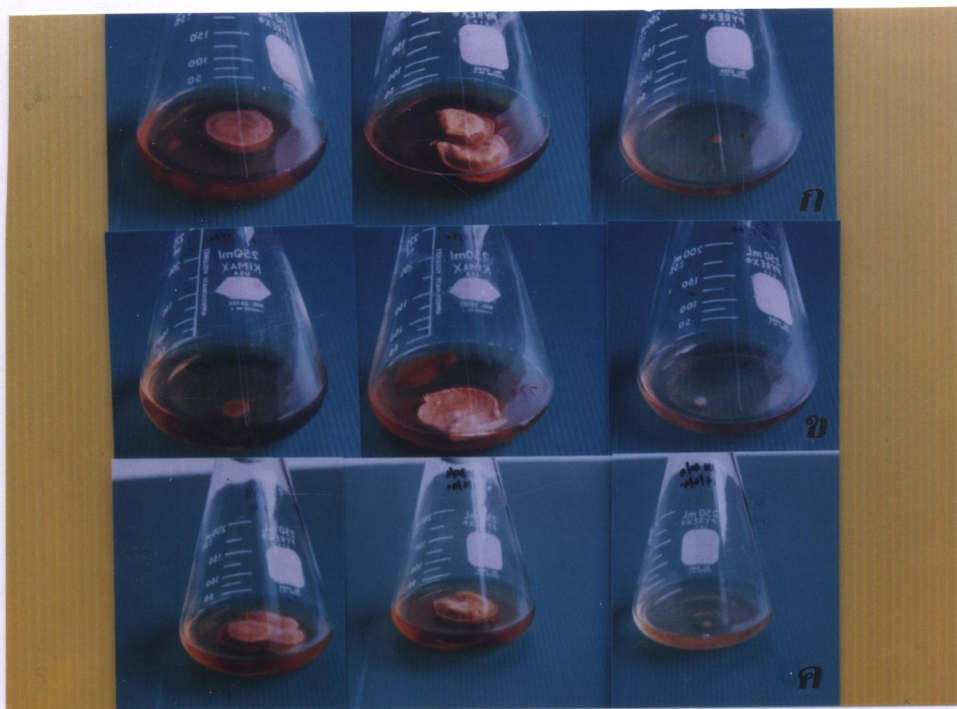
² เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนอน

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P=0.05$)

N.G. ไม่พบการเจริญ

จากการทดลองดังกล่าวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของเส้นใยสูงสุดคือ สายพันธุ์ที่ 1, 4, 3, 14, 13, 12, 5, 8, 10, 6, 7, 9, 2, และ 11 มีน้ำหนักแห้งของเส้นใยคือ 127.05, 126.03, 121.68, 100.53, 98.83, 86.23, 82.03, 70.60, 53.20 , 43.98, 40.75, 38.73, 35.08, 31.18 มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยที่สายพันธุ์ที่ 1, 3, และ 4 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของเส้นใยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันพบว่ามีลักษณะการเจริญคล้าย ๆ กันคือ เส้นใยจะเจริญแผ่แบนราบบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อ ไม่สร้างสายใยที่เจริญขึ้นไปในอากาศ มีลักษณะคล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลแกมเหลือง หรือน้ำตาลทอง เส้นใยนุ่มแต่ไม่ฟู ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ อาหารเลี้ยงเชื้อจะเปลี่ยนสีจากปกติคือ น้ำตาลแต่ไม่ทึบ เป็น น้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลแดง เมื่อการเจริญของเส้นใยมากขึ้น (ภาพที่ 11-15) นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อการเริ่มการเจริญของเส้นใยรา กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เส้นใยจะเริ่มการเจริญภายใน 4-6 วัน แต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการเริ่มการเจริญน้อยกว่า คือ ประมาณ 2-3 วัน ทั้งนี้แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (ตารางที่ 6)

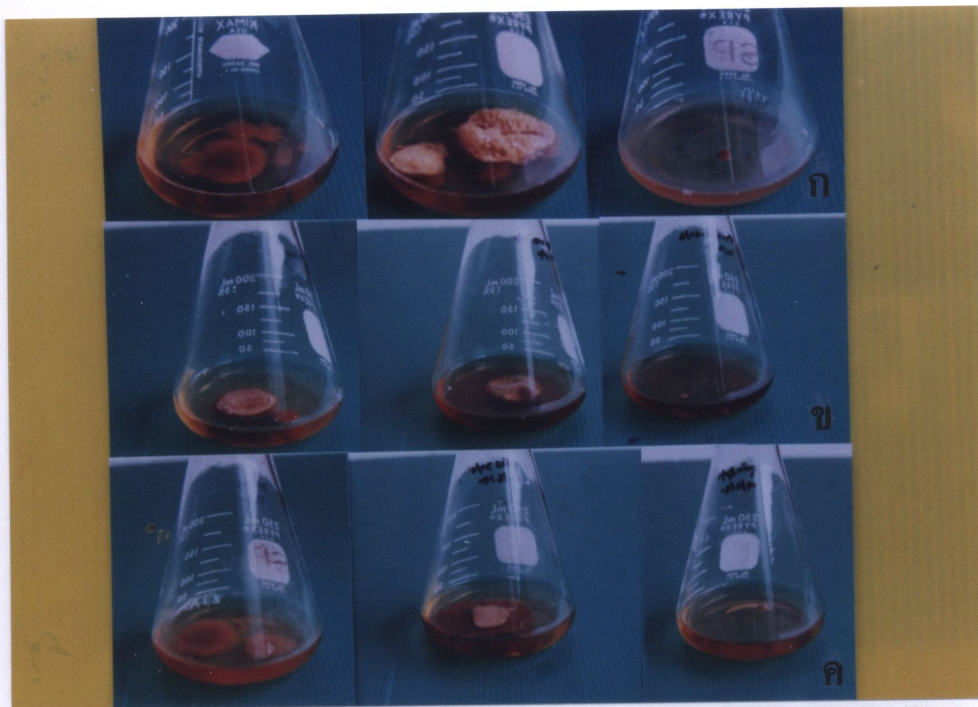


ภาพที่ 11. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 1

ข) สายพันธุ์ที่ 2

ค) สายพันธุ์ที่ 3



ภาพที่ 12. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่ อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 4

ข) สายพันธุ์ที่ 5

ค) สายพันธุ์ที่ 6

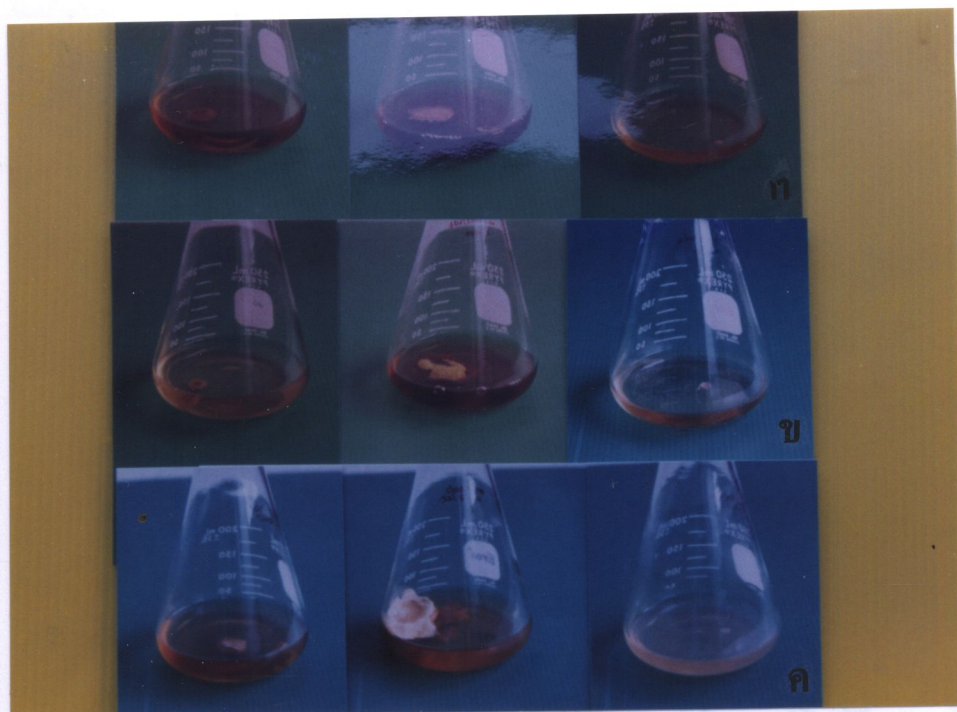


ภาพที่ 13. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่ อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 7

ข) สายพันธุ์ที่ 8

ค) สายพันธุ์ที่ 9

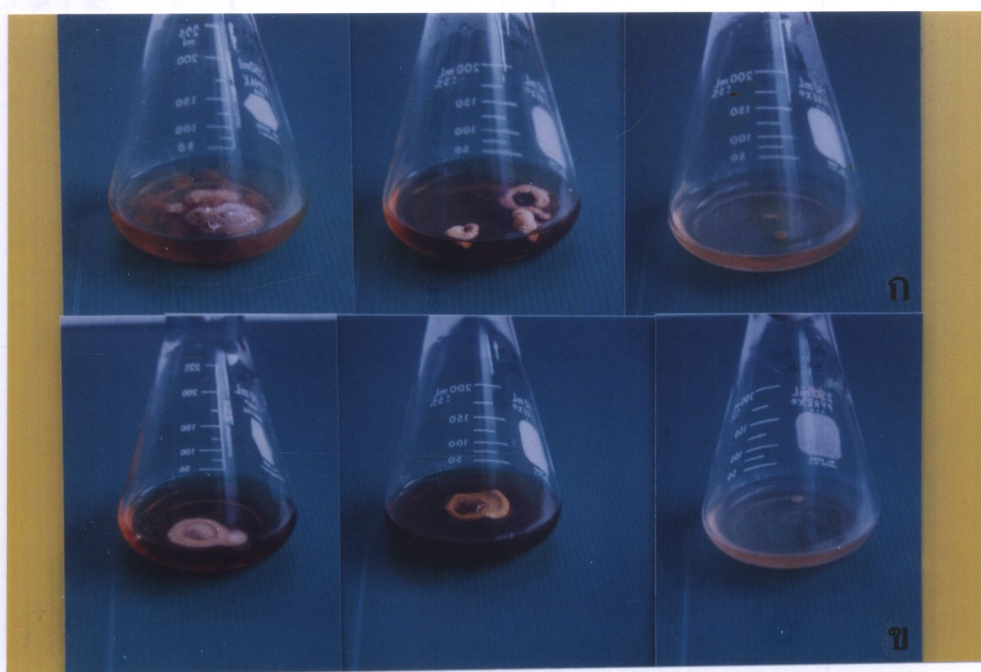


ภาพที่ 14. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 10

ข) สายพันธุ์ที่ 11

ค) สายพันธุ์ที่ 12



ภาพที่ 15. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 13

ข) สายพันธุ์ที่ 14

ตารางที่ 6 ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ระยะเวลา 30 วัน

สายพันธุ์ที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่เริ่มมีการเจริญ (วัน)	ลักษณะการเลี้ยงเชื้อ	
			เริ่มต้น	สิ้นสุด
1	20	4	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง
				เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาล ทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยนุ่ม แต่ไม่ฟู
	30	2	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง
				เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน ๆ เกือบเต็มผิวหน้าอาหาร คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใย นุ่ม ไม่ฟู
2	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ
				ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	20	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง
				เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน กลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำ ตาล ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
3	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง
				เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่น แบน บางคล้ายแผ่นหนังสี น้ำตาลทองขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ
				ไม่มีการเจริญของเส้นใย
3	20	4	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง
				เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน หนา คล้ายแผ่นหนังสี น้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง
				เส้นใยเจริญแผ่เป็นแบน กลม หนา คล้ายแผ่นหนังสี น้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ
				ไม่มีการเจริญของเส้นใย

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สายพันธุ์ที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่เริ่มมีการเจริญ (วัน)	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	
4	20	4	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลม คล้ายก้อนสำลีสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	30	2	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน ๆ คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยนุ่ม ไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	20	4	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน กลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
5	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน ก่อนข้างกลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทองของขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	20	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นค่อนข้างกลมคล้ายก้อนสำลีสีแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
6	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแบน บาง คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลแกมเหลือง ขอบโคโลนีไม่เรียบ เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สายพันธุ์ที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่เริ่มมีการเจริญ (วัน)	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	
7	20	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลม แบน คล้ายก้อนสำลีสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	30	2	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน ๆ คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลแกมเหลือง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยนุ่ม ไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
8	20	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน กลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลแกมเหลือง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
9	20	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นกลม แบนคล้ายก้อนสำลีสีน้ำตาลแกมเหลือง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแบนบนผิวหน้าอาหาร คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลแกมเหลือง ขอบโคโลนีหยาบเล็กน้อย เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สายพันธุ์ที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่เริ่มมีการเจริญ (วัน)	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	
10	20	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลเกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลมแบน คล้ายก้อนสำลีสีน้ำตาลเกมเหลือง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน บาง คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีหยักเล็กน้อย เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	20	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	มีน้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญเป็นก้อนกลม คล้ายก้อนสำลีสีน้ำตาลเกมเหลือง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
11	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	20	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลเกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นกลมแบนคล้ายก้อนสำลีสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
12	30	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลเกมเหลือง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลเกมเหลือง ขอบโคโลนีหยักเล็กน้อย เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย

ตารางที่ 6 (ต่อ)

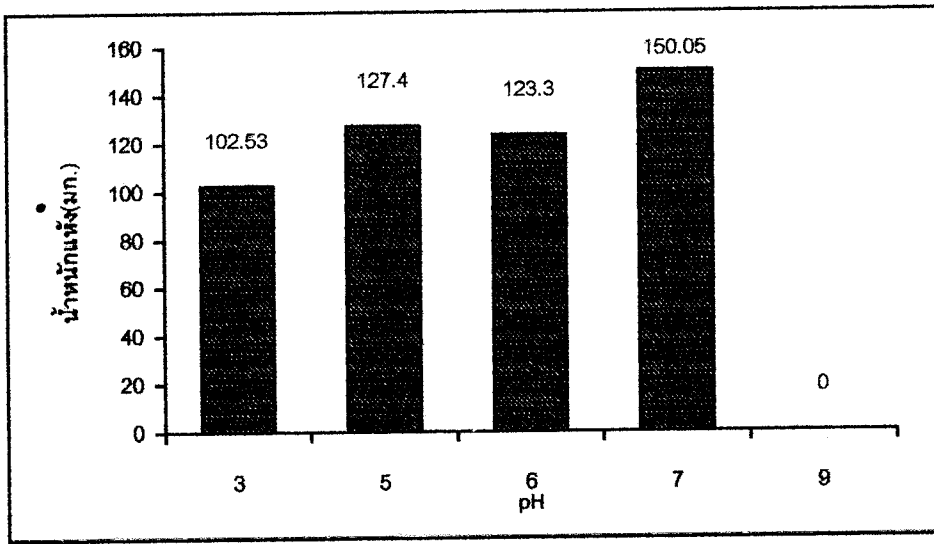
สายพันธุ์ที่	อุณหภูมิ (°C)	วันที่เริ่มมีการเจริญ (วัน)	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	
13	20	4	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลมแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู แต่นุ่ม
	30	2	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแกมเหลือง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลม นูนเล็กน้อย คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟูแต่นุ่ม
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
14	20	4	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญเป็นก้อนกลมแบนคล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู แต่นุ่ม
	30	2	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบและยกตัวขึ้นเล็กน้อย เส้นใยไม่ฟู
	40	-	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย

ผลของความเป็นกรดต่าง (pH) ต่อการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius*

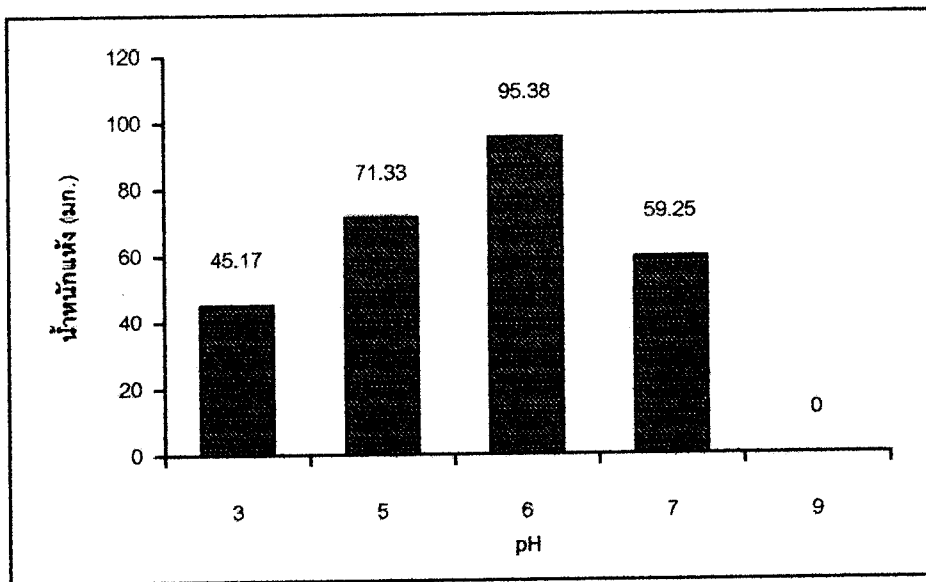
เมื่อเลี้ยงเส้นใยรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ ที่ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN โดยปรับ pH เริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อเป็น 3, 5, 6, 7 และ 9 เก็บผลการทดลองเป็นน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใย เมื่ออายุครบ 30 วัน เพื่อหาระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย จากการทดลองพบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 คือ pH 7 ให้ค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเท่ากับ 150.05 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ pH 6 เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเส้นใยราสายพันธุ์ที่ 2, 4 และ 8 โดยมีค่าของน้ำหนักแห้งเส้นใยเฉลี่ยเท่ากับ 95.38, 144.63 และ 39.30 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยที่ pH อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) ที่ pH 5 รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 5, 6, 7, 9 และ 12 จะเจริญได้ดี โดยมีค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเท่ากับ 106.00, 60.40, 89.28, 61.60, และ 92.08 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามลำดับ ส่วนที่ pH 6 รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 5, 6, 7, 9 และ 12 มีค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเป็น 108.55, 64.85, 77.05, 66.53, และ 85.70 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม น้ำหนักแห้งที่ pH 5 และ 6 ของรา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) สายพันธุ์ที่ 10 และ 11 นั้น สามารถเจริญได้ดีที่ pH 3, 5 และ 6 โดยมีค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเป็น 58.95, 60.23 และ 66.53, มิลลิกรัมต่ออาหารเลี้ยงเชื้อ 50 มิลลิลิตร สำหรับรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 10 และมีค่าเป็น 68.78, 59.23 และ 60.23 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรอาหารเลี้ยงเชื้อ สำหรับรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 11 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งเส้นใยของทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ pH 3-6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 3, 13 และ 14 เป็นสายพันธุ์ที่ เจริญได้ในช่วง pH ที่กว้างกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 3 และ 13 มี pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ pH 7 และ 6 ซึ่งให้ค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเท่ากับ 124.40 และ 116.57 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามลำดับ ส่วนรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 14 มีการเจริญสูงสุดที่ pH 3 โดยมีค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยเป็น 117.20 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ อย่างไรก็ตาม รา *P. tinctorius* ทั้งสามสายพันธุ์นี้สามารถเจริญได้ดีที่ pH 3-7 ที่ pH 9 ไม่พบการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ทุกสายพันธุ์ (ภาพที่ 16-29)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเส้นใยรา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ ที่ระดับ pH ต่างๆ ด้วยวิธี DMRT แล้วสามารถที่จะนำมาจัดแบ่งกลุ่มตามรูปแบบการเจริญ โดยใช้ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของราแต่ละสายพันธุ์เป็นเกณฑ์ ตามวิธีของ Hung และ Trappe (1983) ได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เจริญได้ดีที่ระดับ pH ที่เหมาะสม ได้แก่ รา *P. tinctorius*

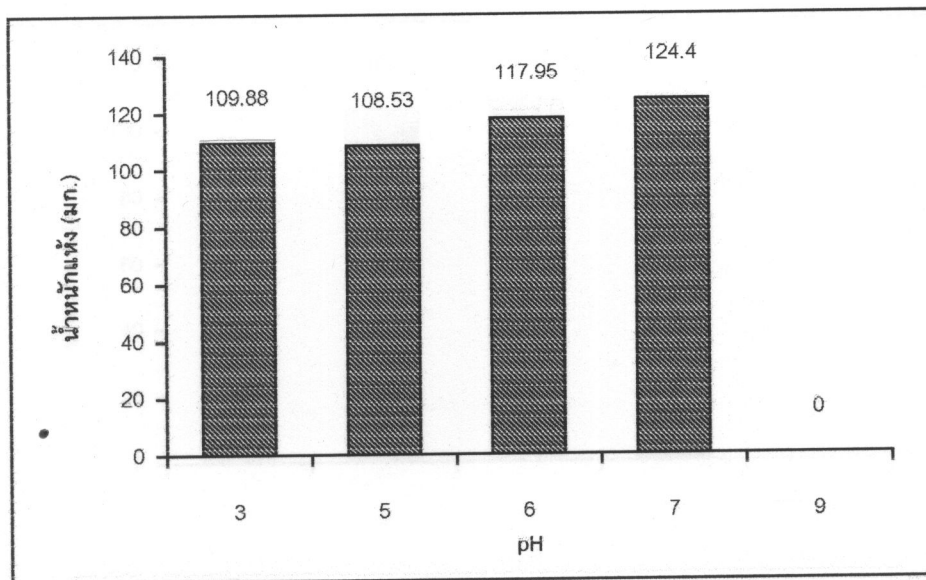
สายพันธุ์ที่ 1, 2, 4, และ 8, กลุ่มที่เจริญได้ดีในช่วง 2 ระดับ pH ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 5, 6, 7, 9, และ 12, กลุ่มที่เจริญได้ดีในช่วง 3 ระดับ pH ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 10 และ 11, และ กลุ่มที่เจริญได้ดีในช่วง 4 ระดับ pH ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 3, 13, และ 14 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7



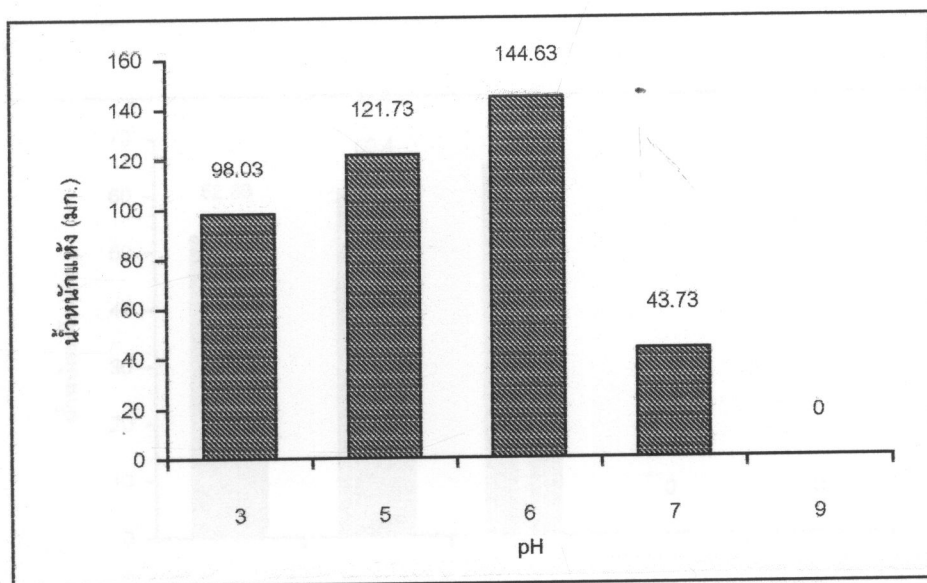
ภาพที่ 16. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



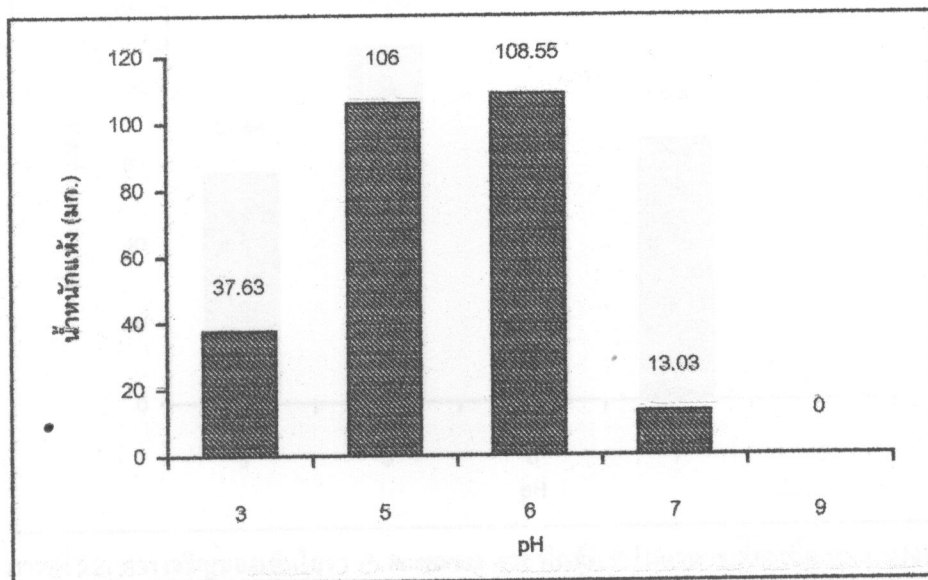
ภาพที่ 17. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



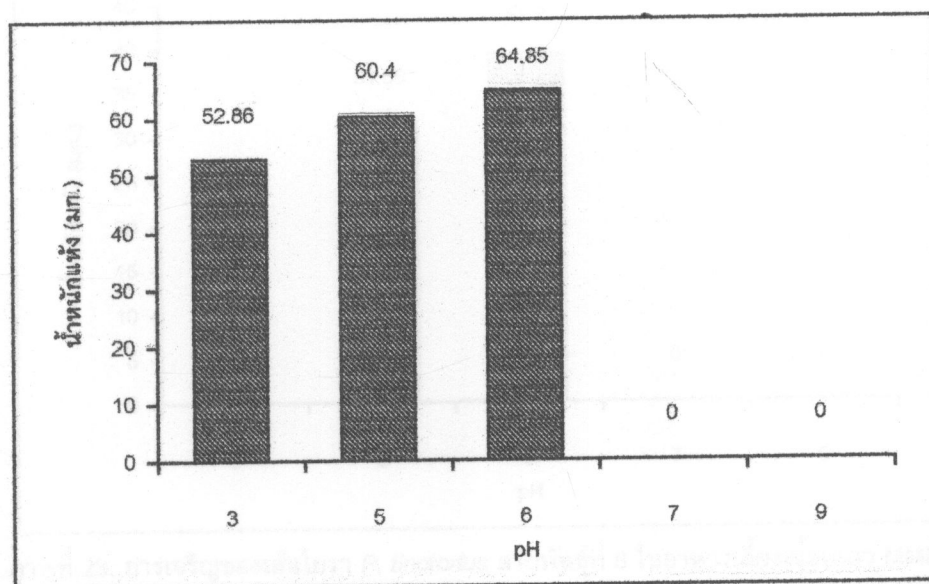
ภาพที่ 18. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



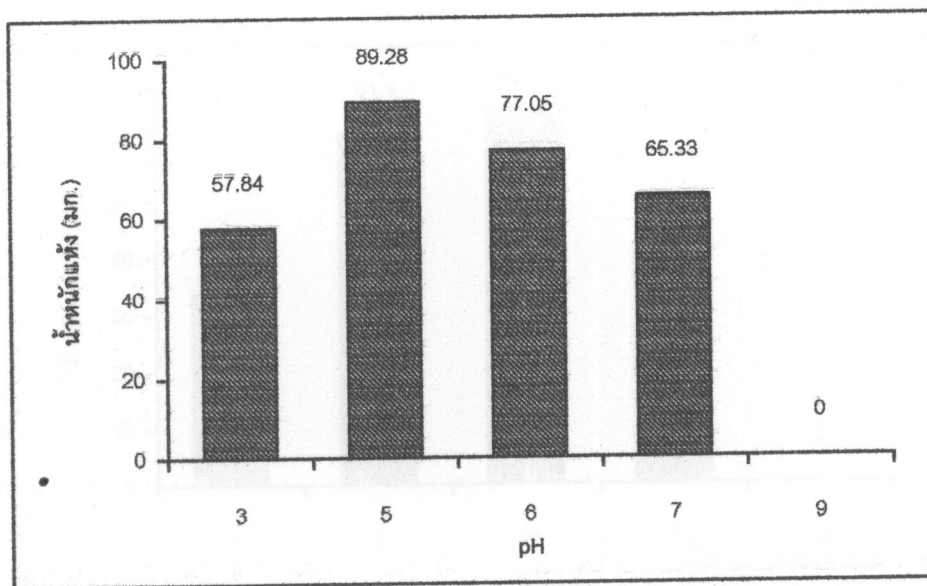
ภาพที่ 19. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



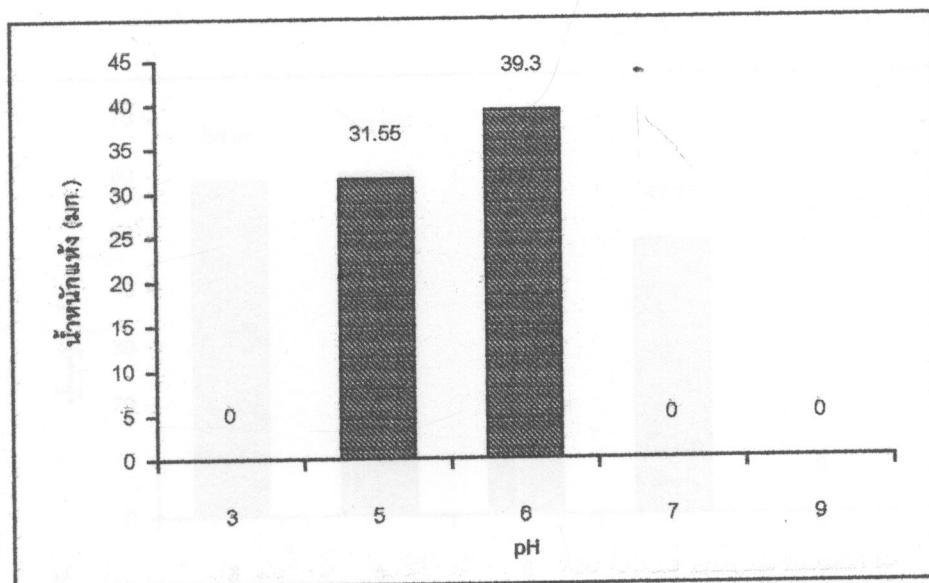
ภาพที่ 20. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 5 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 ปมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



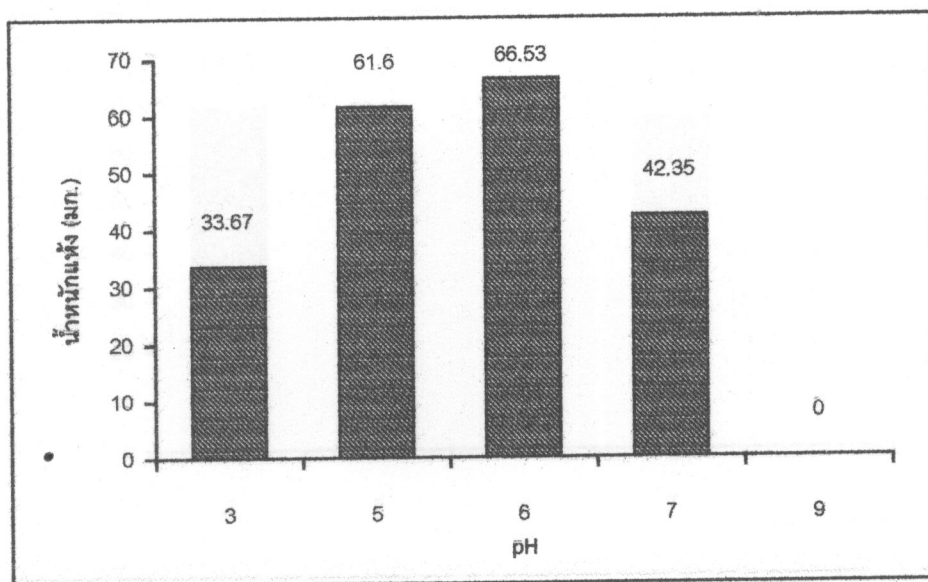
ภาพที่ 21. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 6 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 ปมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



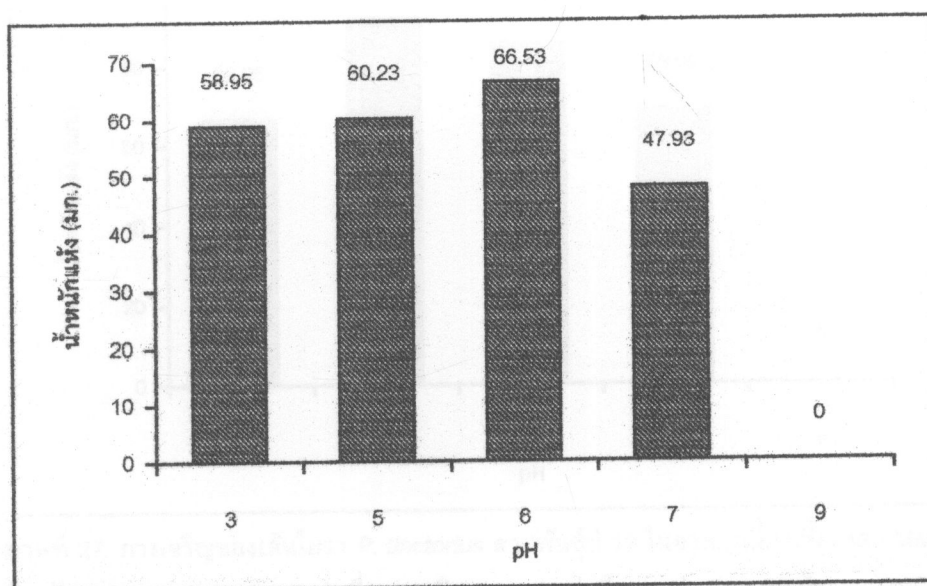
ภาพที่ 22. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 7 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



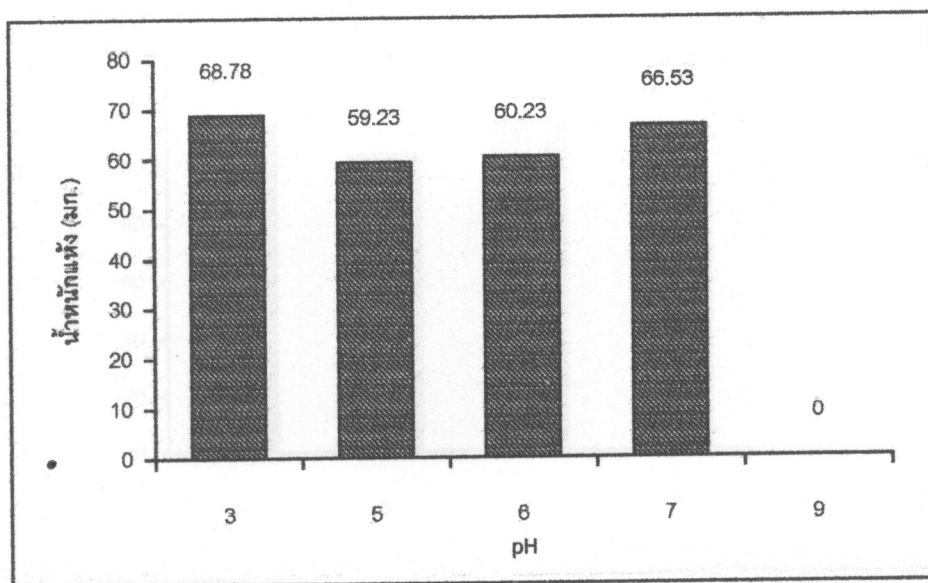
ภาพที่ 23. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 8 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



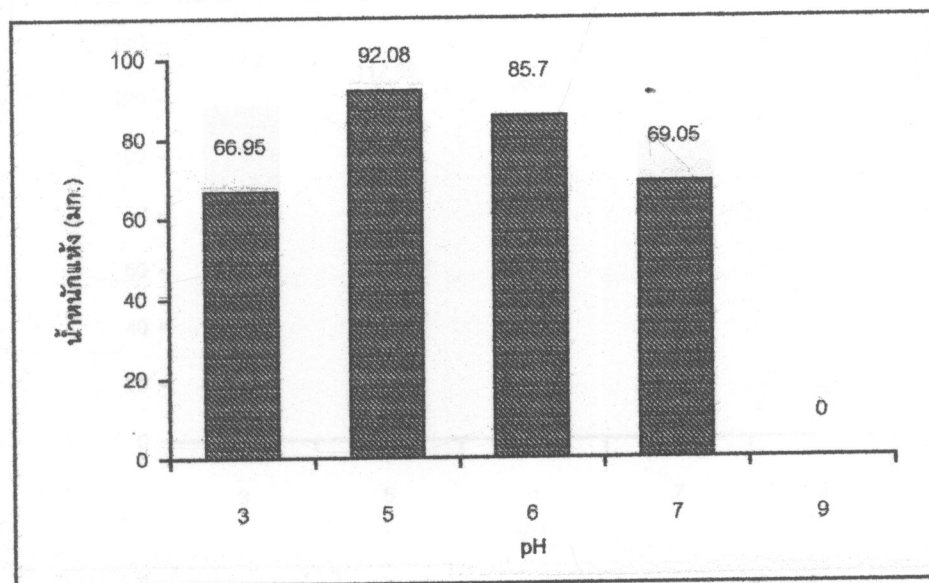
ภาพที่ 24. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 9 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



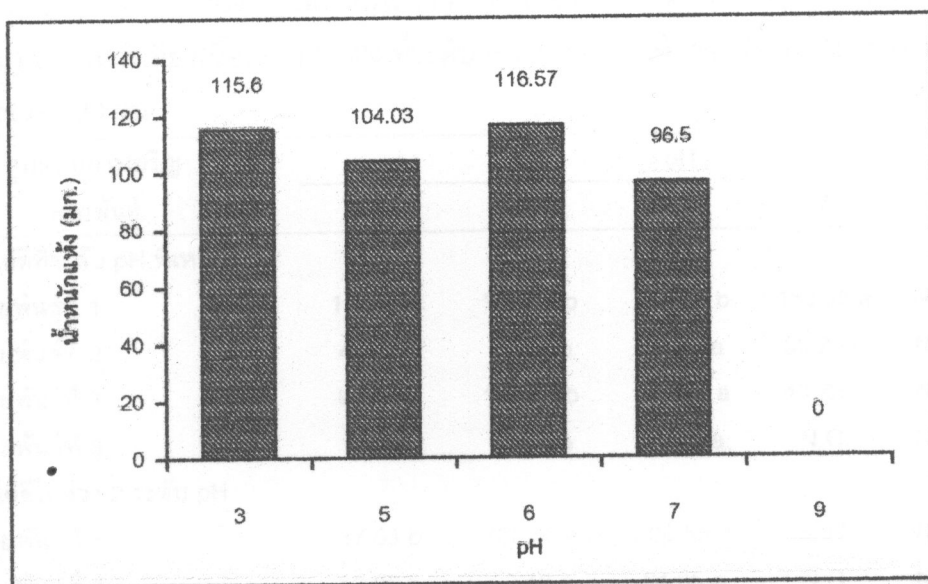
ภาพที่ 25. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 10 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



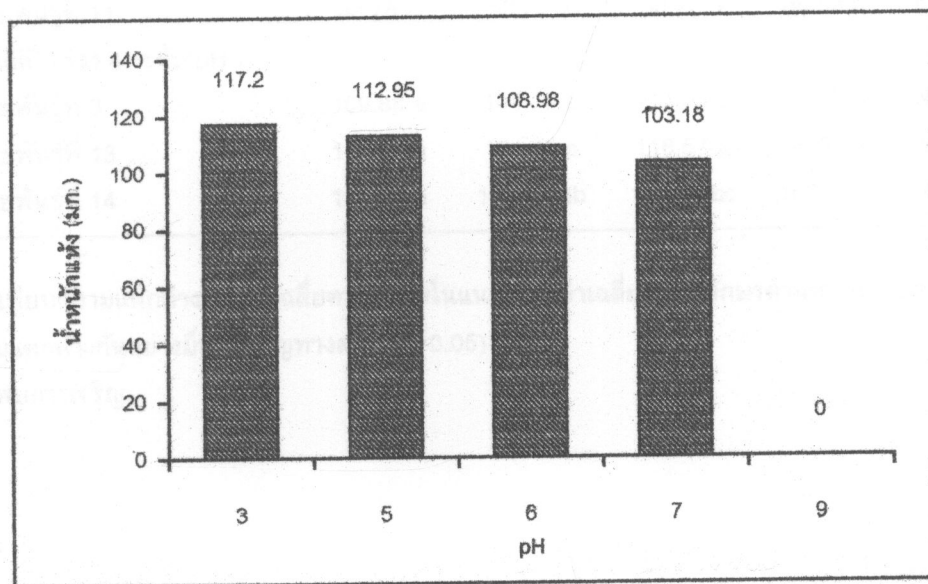
ภาพที่ 26. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 11 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 27. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 28. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 29. การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 14 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* โดยวัดน้ำหนักแห้งของเส้นใย (มิลลิกรัม) ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH ต่างๆ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน

รูปแบบการเจริญ สายพันธุ์	pH				
	3	5	6	7	9
1) เจริญได้ดีที่ระดับ pH ที่เหมาะสม					
สายพันธุ์ที่ 1	102.53 c	127.40 b	123.30 b	150.05 a	N.G.
สายพันธุ์ที่ 2	45.17 c	71.33 b	95.38 a	59.25 b	N.G.
สายพันธุ์ที่ 4	98.03 c	121.73 b	144.63 a	43.73 d	N.G.
สายพันธุ์ที่ 8	N.G.	31.55 b	39.30 a	N.G.	N.G.
2) เจริญได้ดีในช่วง 2 ระดับ pH					
สายพันธุ์ที่ 5	37.63 b	106.00 a	108.55 a	13.03 c	N.G.
สายพันธุ์ที่ 6	52.86 b	60.40 a	64.85 a	N.G.	N.G.
สายพันธุ์ที่ 7	57.84 c	89.28 a	77.05 ab	65.33 bc	N.G.
สายพันธุ์ที่ 9	33.67 b	61.60 a	66.53 a	42.35 b	N.G.
สายพันธุ์ที่ 12	66.95 b	92.08 a	85.70 a	69.05 b	N.G.
3) เจริญได้ดีในช่วง 3 ระดับ pH					
สายพันธุ์ที่ 10	58.95 a	60.23 a	66.53 a	47.93 b	N.G.
สายพันธุ์ที่ 11	68.78 a	59.23 a	60.23 a	66.53 b	N.G.
4) เจริญได้ดีในช่วง 4 ระดับ pH					
สายพันธุ์ที่ 3	109.88 a	108.53 a	117.95 a	124.40 a	N.G.
สายพันธุ์ที่ 13	115.60 a	104.03 a	116.57 a	96.50 a	N.G.
สายพันธุ์ที่ 14	117.20 a	112.95 ab	108.98 bc	103.18 c	N.G.

* เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนอน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรด้านข้างกำกับต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

N.G. ไม่พบการเจริญ

สายพันธุ์ที่ 14 จัดอยู่ในกลุ่มที่สามารถเจริญได้ดีในช่วง 4 ระดับของ pH แม้ว่าค่าทางสถิติจะแตกต่างกันในบางระดับของ pH แต่สายพันธุ์นี้ก็แสดงการเจริญได้ดีทั้ง 4 ช่วงของ pH

การเปลี่ยนแปลงของ pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อเลี้ยงรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว เมื่อเลี้ยงเส้นใยได้ 30 วัน แต่เนื่องจากการนั่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดันสูง ที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเหลวที่เตรียมเมื่อเริ่มต้นทำให้ pH เพิ่มขึ้น หรือลดลงแตกต่างกันไป การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเหลวที่ใช้เลี้ยงเส้นใยรา ทั้ง 14 สายพันธุ์ เมื่อเลี้ยงเส้นใยได้ 30 วัน จึงเลือกที่จะพิจารณาจาก pH ที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการนั่งฆ่าเชื้อ พบว่า โดยรวมแล้ว pH จะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเจริญของเส้นใย กล่าวคือ ถ้ามีการเจริญมาก pH ก็จะลดลงมาก (ตารางที่ 8) สายพันธุ์ที่ 1 ซึ่งมี การเจริญดีที่ pH 7 (150 มิลลิกรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ) pH จะเปลี่ยนแปลงลดลงถึง 3.38 หน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของ pH ที่ระดับอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลง pH ของสายพันธุ์อื่น ๆ ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน

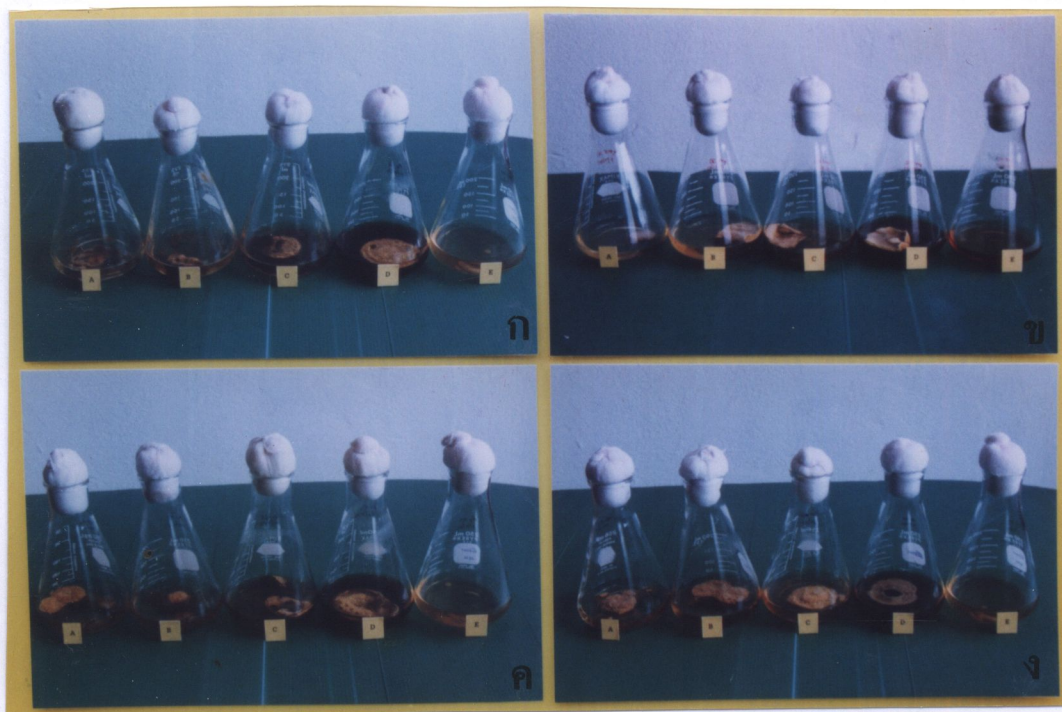
ลักษณะการเจริญและพัฒนาของเส้นใยรา *P. tinctorius* ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว ที่ pH ต่าง ๆ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน เส้นใยจะเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนัง สีเหลืองอ่อน น้ำตาล หรือน้ำตาลทอง (Golden brown) ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN จะเปลี่ยนสีจากปกติคือ น้ำตาลแต่ไม่ทึบ เป็นสีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม น้ำตาลแดงหรือน้ำตาลดำ (ตารางที่ 9 และภาพที่ 30-33)

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของ pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN เมื่อเลี้ยงเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ปุ่มที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

สายพันธุ์ที่	pH				
	3(3.19)	5(4.98)	6(5.87)	7(6.53)	9(8.75)
1	-0.71	-2.35	-3.08	-3.38	-0.15
2	-0.49	-0.49	-2.26	-3.18	-0.16
3	-0.67	-2.34	-3.08	-3.06	-0.19
4	-0.70	-2.33	-3.07	-1.41	-0.14
5	-0.26	-2.24	-3.15	-0.64	-0.13
6	-0.52	-2.00	-2.85	-0.16	-0.12
7	-0.54	-2.35	-3.10	-2.94	-0.15
8	-0.14	-1.47	-1.80	-0.15	-0.19
9	-0.43	-2.22	-3.04	-1.34	-0.18
10	-0.65	-2.14	-3.08	-1.60	-0.16
11	-0.68	-2.27	-2.14	-3.08	-0.13
12	-0.65	-2.45	-3.18	-2.54	-0.19
13	-0.65	-2.29	-2.66	-2.82	-0.18
14	-0.68	-2.36	-3.22	-3.15	-0.18

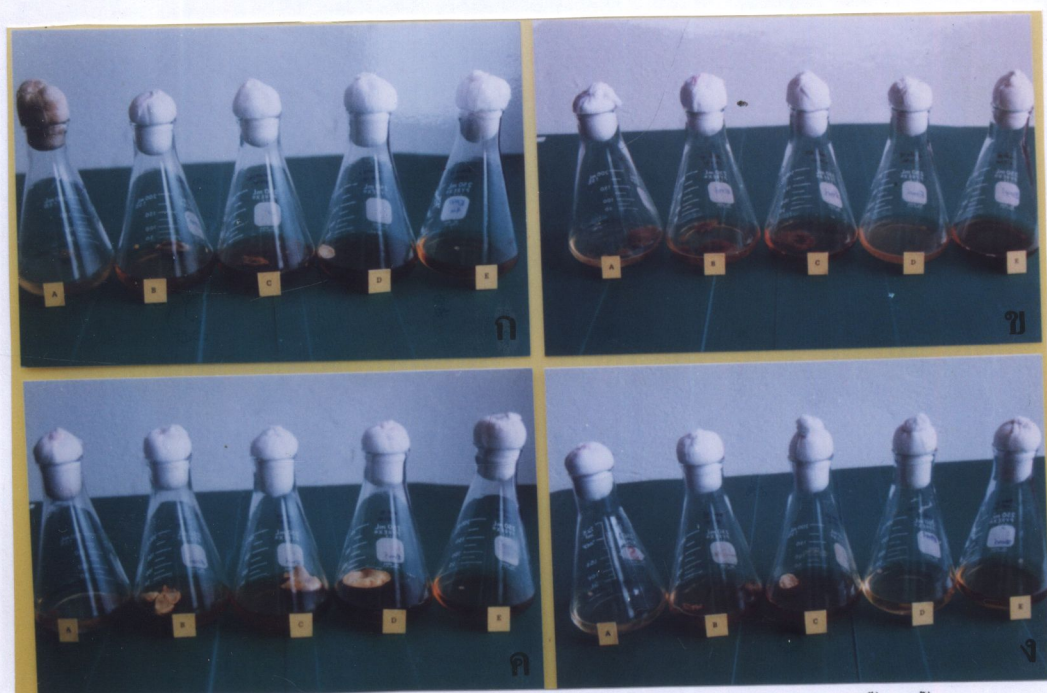
หมายเหตุ 1) ค่าตัวเลขในวงเล็บเป็นค่า pH ภายหลังจากการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2) ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป (Δ pH) หาได้จาก Δ pH = pH ภายหลังจากการนึ่งฆ่าเชื้อ- pH เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 30 วัน



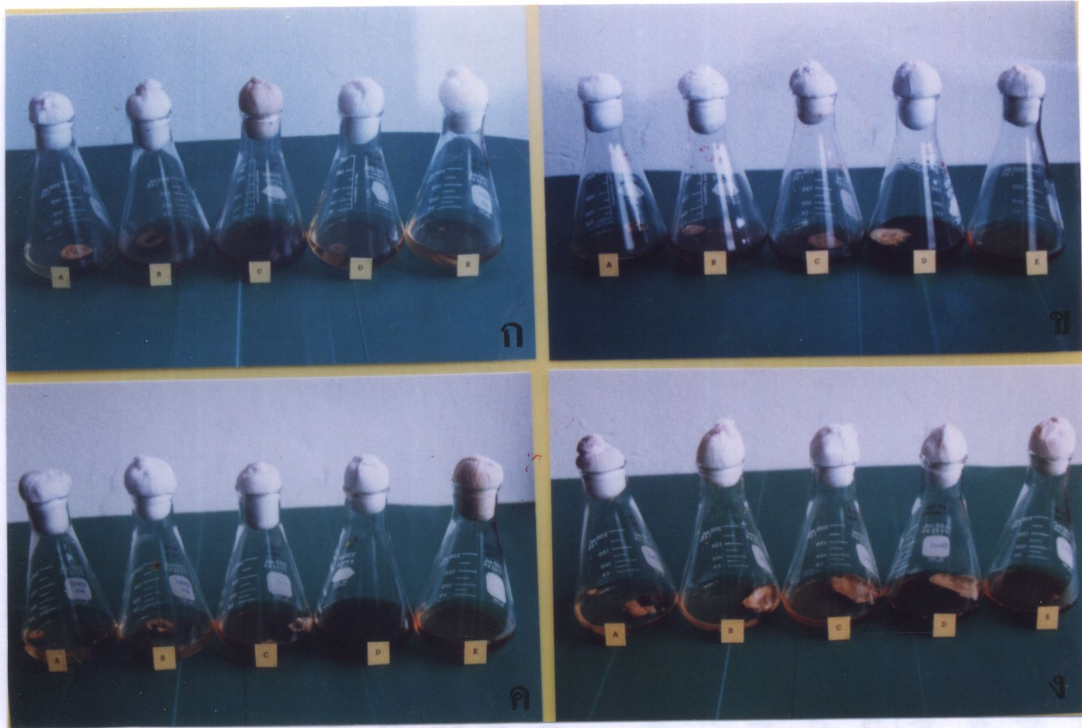
ภาพที่ 30. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 1 ข) สายพันธุ์ที่ 2 ค) สายพันธุ์ที่ 3 ง) สายพันธุ์ที่ 4

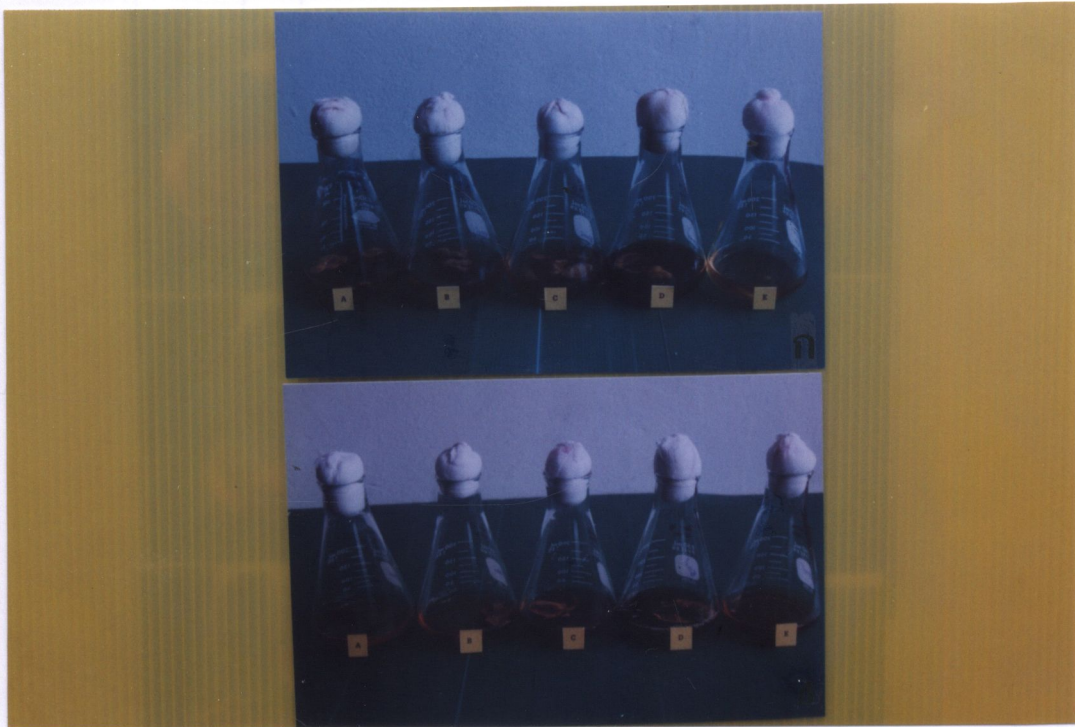


ภาพที่ 31. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน

ก) สายพันธุ์ที่ 5 ข) สายพันธุ์ที่ 6 ค) สายพันธุ์ที่ 7 ง) สายพันธุ์ที่ 8



ภาพที่ 32. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน
 ก) สายพันธุ์ที่ 9 ข) สายพันธุ์ที่ 10 ค) สายพันธุ์ที่ 11 ง) สายพันธุ์ที่ 12



ภาพที่ 33. ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 (จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน
 ก) สายพันธุ์ที่ 13 ข) สายพันธุ์ที่ 14

ตารางที่ 9 ลักษณะการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH ต่าง ๆ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน

สายพันธุ์ที่	ลักษณะของโคโลนี	
	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ	pH
เริ่มต้น		
สิ้นสุด		
1	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแอมเหลือง
3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยเจริญกระจุกกระจายทั่วผิวหน้าอาหาร แต่ไม่ฟู
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแอมเหลือง
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน กระจุกกระจายทั่วผิวหน้าอาหาร คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง เส้นใยไม่ฟู ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ
6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง
6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบนคล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลดำ
7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบนคล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแอมเหลือง
9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
2	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ
3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่น แบน คล้ายแผ่นหนัง โคโลนีค่อนข้างกลม ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแอมเหลือง
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีเหลืองอ่อน โคโลนีค่อนข้างกลม ส่วนที่สัมผัสกับผิวหน้าอาหารจะยกตัวสูงขึ้น

สายพันธุ์ที่	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี	
	pH	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
3	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีเหลืองอ่อน ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีเหลืองอ่อน ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
4	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบนคล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยฟูเล็กน้อย
	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลเข้ม	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ
5	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน สีน้ำตาลทอง กระจายอยู่ทั่วผิวหน้าอาหาร ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สายพันธุ์ที่	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี	
	pH	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
5	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลม แบน และบาง คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน ขนาดเล็ก คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
5	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน รี คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีหยาบมน เส้นใยเจริญกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าอาหาร
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลข้ม	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบนบาง คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู

สายพันธุ์ที่		ลักษณะของโคโลนี	
pH		ลักษณะของโคโลนี	
เริ่มต้น		สิ้นสุด	
เริ่มตั้งแต่ไม่ทึบ		น้ำตาลอ่อน	
6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญเป็นแผ่นกลม คล้ายก้อนสำลีสีเปียกน้ำสีน้ำตาล ขอบโคโลนีหยักมน เส้นใยไม่ฟู
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญเป็นแผ่น แบน คล้ายก้อนสำลีสีเปียกน้ำสีน้ำตาล ขอบโคโลนีหยักมน
6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลเข้ม	เส้นใยเจริญเป็นแผ่น แบน ทรงสี่เหลี่ยม คล้ายก้อนสำลีสีเปียกน้ำสีน้ำตาล ขอบโคโลนีหยักมน
7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
9	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นทรงสี่เหลี่ยม คล้ายแผ่นหนังสีเหลือง ขอบโคโลนียกตัวสูงขึ้น
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นทรงสี่เหลี่ยม คล้ายแผ่นหนังสีเหลือง เส้นใยไม่ฟู ขอบโคโลนียกตัวสูงขึ้น
6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นหนา ทรงสี่เหลี่ยม คล้ายแผ่นหนังสีเหลือง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยฟูเล็กน้อย

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สายพันธุ์ที่	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี	
	pH	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม นูน คล้ายแผ่นหนังสีเหลือง ขอบโคโลนีเรียบมน เส้นใยฟูเล็กน้อย
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลอ่อน	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
8	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญเป็นแผ่น แบน ทรงสี่เหลี่ยม ขนาดค่อนข้างเล็ก คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบและยกตัวสูงขึ้น
6	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีเหลือง เส้นใยฟูเล็กน้อย ขอบโคโลนีเรียบ
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
9	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ
5	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม แบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน บาง สีน้ำตาลทอง รูปทรงไม่แน่นอน ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู

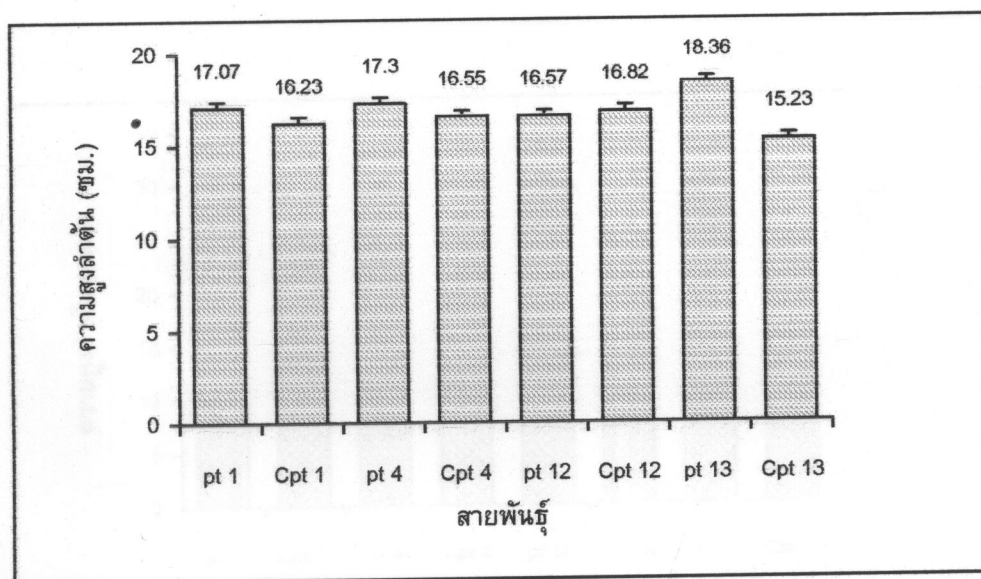
สายพันธุ์ที่		สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี	
pH	เริ่มต้น		สิ้นสุด		
	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	
7					เส้นใยเจริญแผ่เป็นก้อนกลม คล้ายก้อนสำลีเปียกน้ำสีเหลืองอ่อน เส้นใยไม่ฟู
9	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน			ไม่มีการเจริญของเส้นใย
10	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง			เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขนาดเล็ก ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง			เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลเหลือง ขนาดเล็ก ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง			เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังขนาดเล็ก สีน้ำตาล ขอบโคโลนีหยาบ เส้นใยไม่ฟู
7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลดำ			เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน บาง สีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีหยาบ เส้นใยไม่ฟู
9	น้ำตาล	น้ำตาล			ไม่มีการเจริญของเส้นใย
11	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล			เส้นใยเจริญแผ่เป็นก้อนกลม คล้ายก้อนสำลีเปียกน้ำ กระจายทั่วผิวหน้าอาหาร ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล			เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีหยาบ เส้นใยไม่ฟู

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สายพันธุ์ที่	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี	
	pH	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
12	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลเข้ม	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลแกมเหลือง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่น คล้ายก้อนสำลิจมน้ำ โคโลนีสีน้ำตาล
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
13	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นทรงสี่เหลี่ยม ค่อนข้างนูนหนา สีเหลืองอ่อน ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ
	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นทรงสี่เหลี่ยม รูปร่างค่อนข้างนูนหนา คล้ายสี่เหลี่ยมอ่อน ขอบโคโลนีเรียบ
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบนที่มีรูปร่างค่อนข้างนูนสูง รูปทรงไม่แน่นอน ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู ลักษณะโคโลนีคล้ายแผ่นหนังสี่เหลี่ยมอ่อน
13	7	น้ำตาล	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นนูน คล้ายแผ่นหนังสี่เหลี่ยมอ่อน ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	9	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู เจริญกระจุกกระจายอยู่ทั่ว

สายพันธุ์ที่	สีของอาหารเลี้ยงเชื้อ		ลักษณะของโคโลนี	
	pH	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
14	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง รูปทรงไม่แน่นอน ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง กระจายอยู่ทั่วผิวหน้าอาหาร ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง-ดำ	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลม คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง กระจายอยู่ทั่วผิวหน้าอาหาร ขอบโคโลนีเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	ไม่มีการเจริญของเส้นใย
	3	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นกลมหนา หนูนเล็กน้อย สีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
14	5	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีหยักเล็กน้อย เส้นใยไม่ฟู
	6	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลข้ม	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	7	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาลแดง	เส้นใยเจริญแผ่เป็นแผ่นแบน คล้ายแผ่นหนังสีน้ำตาลทอง ขอบโคโลนีค่อนข้างเรียบ เส้นใยไม่ฟู
	9	น้ำตาลแต่ไม่ทึบ	น้ำตาล	ไม่มีการเจริญของเส้นใย

P. tinctorius พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 13 มีความสูงของลำต้นมากกว่าในชุดควบคุม ยกเว้นกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ชุดควบคุมมีความสูงของลำต้นมากกว่าที่ได้ใส่เชื้อ (ภาพที่ 33) แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อ และชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



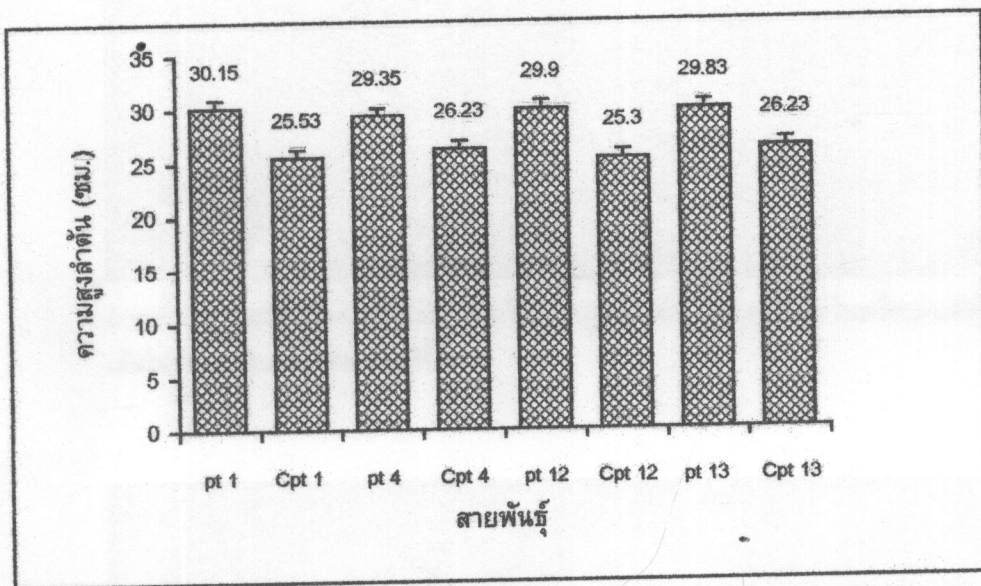
ภาพที่ 34. การเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt 4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

อัตราการเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า ความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 12, 13, และ 4 มีค่า 30.15, 29.90, 29.83, และ 29.35 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Duncan 's multiple range test (DMRT) พบว่า ความสูงของลำต้นกล้า

ไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10) แต่เมื่อเปรียบเทียบการเจริญของความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุมในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่ากล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีความสูงของลำต้นมากกว่าในชุดควบคุม (ภาพที่ 35) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อ และชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 35. การเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13



ภาพที่ 36. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1



ภาพที่ 37. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน และยูคาลิปตัส ในทริตเมนต์ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 38. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทรีตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4



ภาพที่ 39. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 40. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทรีตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12



ภาพที่ 41. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 42. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ในทรีตเมนต์ที่ได้หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13



ภาพที่ 43. การเจริญของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุมที่ได้หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการเจริญของความสูงลำต้นเฉลี่ยของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

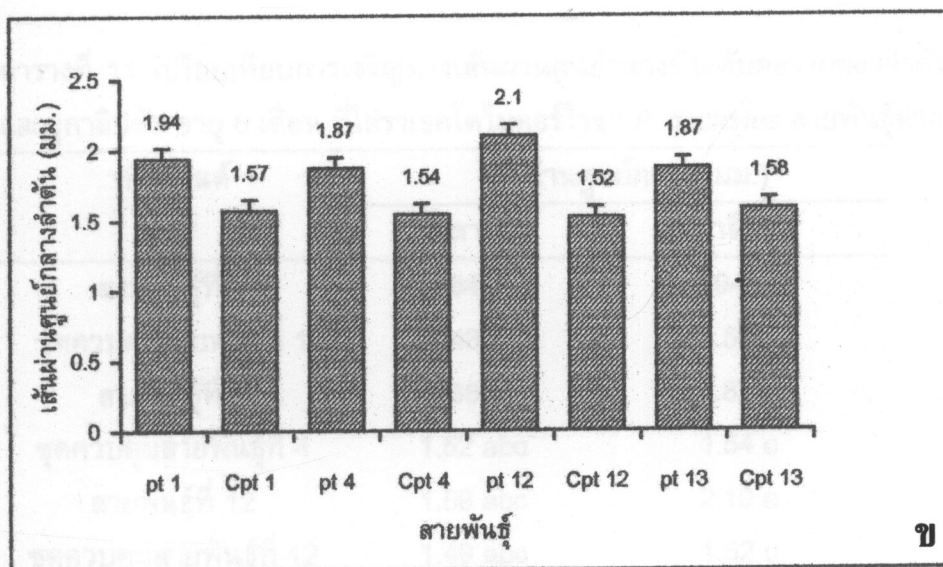
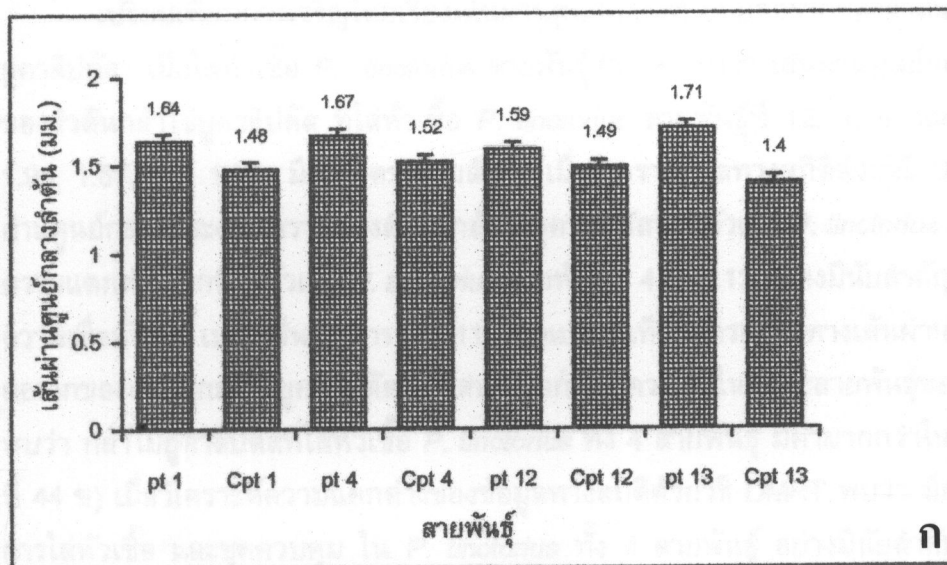
ทริตเมนต์	ความสูง (ซม.)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	17.07 ns	30.15 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	16.23 ns	25.53 b
สายพันธุ์ที่ 4	17.30 ns	29.35 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	16.55 ns	26.23 b
สายพันธุ์ที่ 12	16.57 ns	29.90 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	16.82 ns	25.30 b
สายพันธุ์ที่ 13	18.36 ns	29.83 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	15.23 ns	26.23 b

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนิ่ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05)

ns: non-significant

อัตราการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบเมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13, 4, 1, และ 12 มีค่า 1.71, 1.68, 1.64, และ 1.59 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุมในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่ามากกว่าในชุดควบคุม (ภาพที่ 44 ก) แต่เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า ไม่มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อ และชุดควบคุม ใน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 12 ยกเว้นกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 มีการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นมากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 44. การเจริญเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใยรา เอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* เปรียบเทียบกับชุดควบคุม เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ได้หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt4 คือ หัวเชื้อ เส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ได้หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่า เชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ได้หัวเชื้อเส้น ใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ได้หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13
ก) กล้าไม้สนสามใบ ข) กล้าไม้ยูคาลิปตัส

อัตราการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้

ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, 1, 4, และ 13 มีค่า 2.10, 1.94, 1.87, และ 1.87 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 มีความแตกต่างจากที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 11) เมื่อเปรียบเทียบการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุมในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่ามากกว่าในชุดควบคุม (ภาพที่ 44 ข) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อ และชุดควบคุม ใน *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

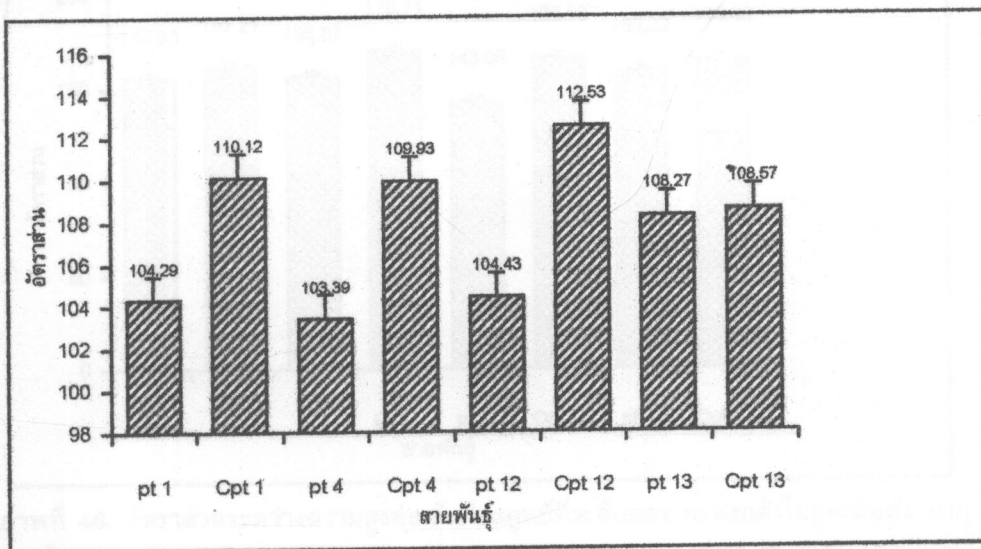
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอโคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

ทริตเมนต์	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	1.64 ab	1.94 ab
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	1.48 bc	1.58 c
สายพันธุ์ที่ 4	1.68 ab	1.87 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	1.52 abc	1.54 c
สายพันธุ์ที่ 12	1.59 abc	2.10 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	1.49 abc	1.52 c
สายพันธุ์ที่ 13	1.71 a	1.87 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	1.40 c	1.58 c

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ

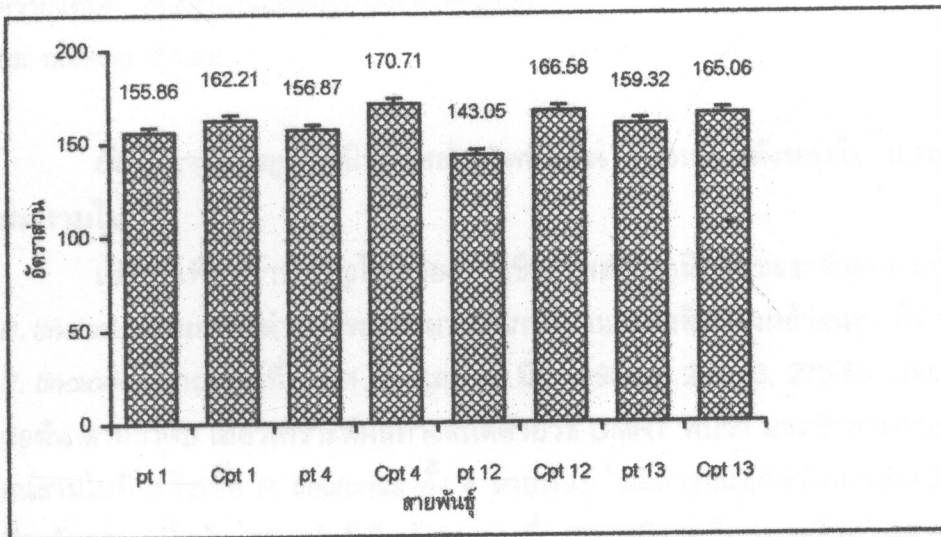
อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นเป็นดัชนีชี้ถึงคุณภาพของกล้าไม้ ถ้ากล้าไม้มีค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นต่ำ แสดงว่าจะมีคุณภาพดีกว่ากล้าไม้ที่มีค่าดังกล่าวสูง (Wilde et al. 1964) เปรียบเทียบโดยเรียงอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, 1, 12, และ 13 มีค่า 103.39, 104.29, 104.43, และ 108.27 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 12) เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 45) แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 45. อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบโดยเรียงอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, 1, 4, และ 13 มีค่า 143.05, 155.86, 156.87, และ 159.32 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 มีความแตกต่างจากที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12) เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 46) เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 46. อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt 4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

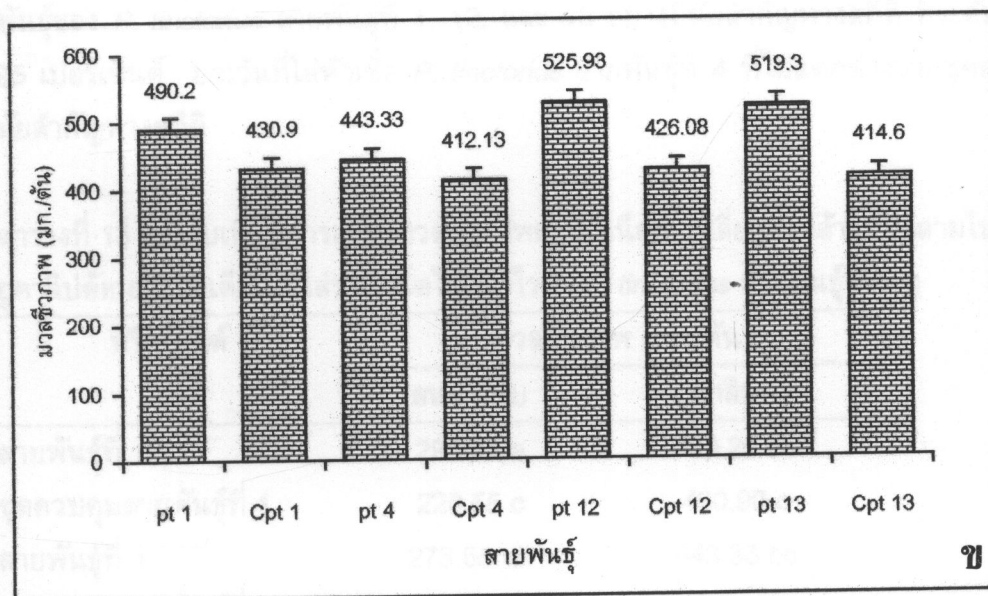
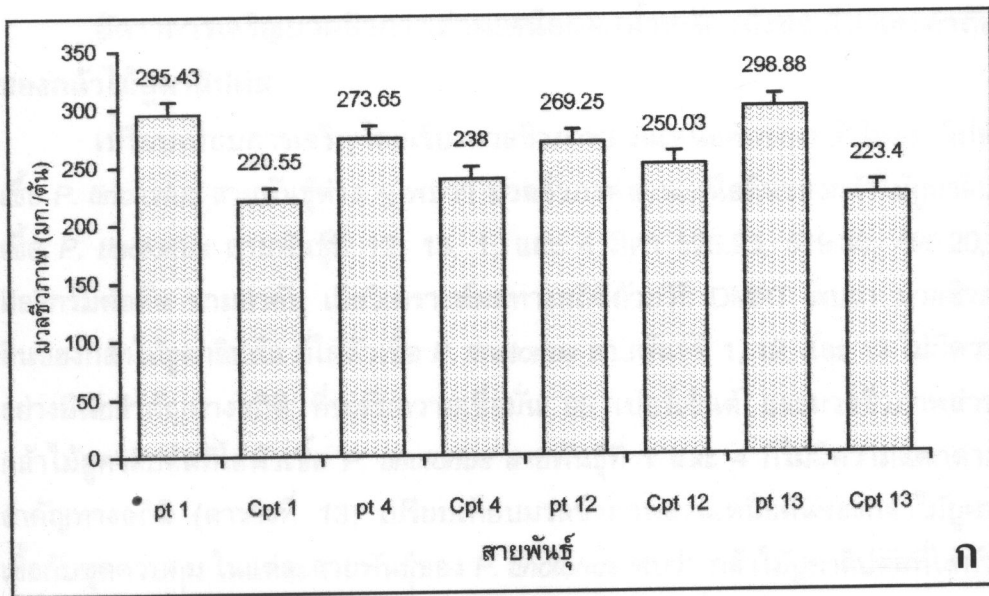
ทรีตเมนต์	อัตราส่วน	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	104.29 ns	155.86 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	110.12 ns	162.21 ab
สายพันธุ์ที่ 4	103.39 ns	156.87 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	109.93 ns	170.71 a
สายพันธุ์ที่ 12	104.43 ns	143.05 c
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	112.53 ns	166.58 ab
สายพันธุ์ที่ 13	108.27 ns	159.32 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	108.57 ns	165.06 ab

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนิ่ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

ns: non-significant

อัตราการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน (น้ำหนักแห้งของใบ และลำต้น) ของกล้าสนสามใบ

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13, 1, 4, และ 12 มีค่า 298.88, 295.43, 273.65, และ 269.25 มิลลิกรัม ต่อต้น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 13) เปรียบเทียบมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่ามากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 47 ก) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุมใน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 47. มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

ก) กล้าไม้สนสามใบ

ข) กล้าไม้ยูคาลิปตัส

อัตราการผลิตมูลชีวภาพส่วนเหนือดิน (น้ำหนักแห้งของใบ และลำต้น)
ของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, 13, 1, และ 4 มีค่า 525.93, 519.30, 490.20, และ 443.33 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 12, และ 13 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 และ 4 ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13) เปรียบเทียบมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่ามากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 47 ข) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ในสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 12, และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ยกเว้นที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินเฉลี่ยของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius*-สายพันธุ์ต่าง ๆ

ทรีตเมนต์	มวลชีวภาพ (มก./ต้น)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	295.43 a	490.20 ab
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	220.55 c	430.90 c
สายพันธุ์ที่ 4	273.65 ab	443.33 bc
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	238.00 bc	412.13 c
สายพันธุ์ที่ 12	269.25 ab	525.93 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	250.03 bc	426.08 c
สายพันธุ์ที่ 13	298.88 a	519.30 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	223.40 c	414.60 c

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

อัตราการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (น้ำหนักแห้งของราก) ของกล้าสนสามใบ

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงมวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าสนสามใบ ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย

P. tinctorius สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ที่ 13, 4, 1, และ 12 มีค่า 255.28, 254.43, 253.35, และ 230.43 มิลลิกรัม

ต่อต้น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าสน

สามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่

ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 14) เปรียบเทียบมวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าสนสาม

ใบ ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุมในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ

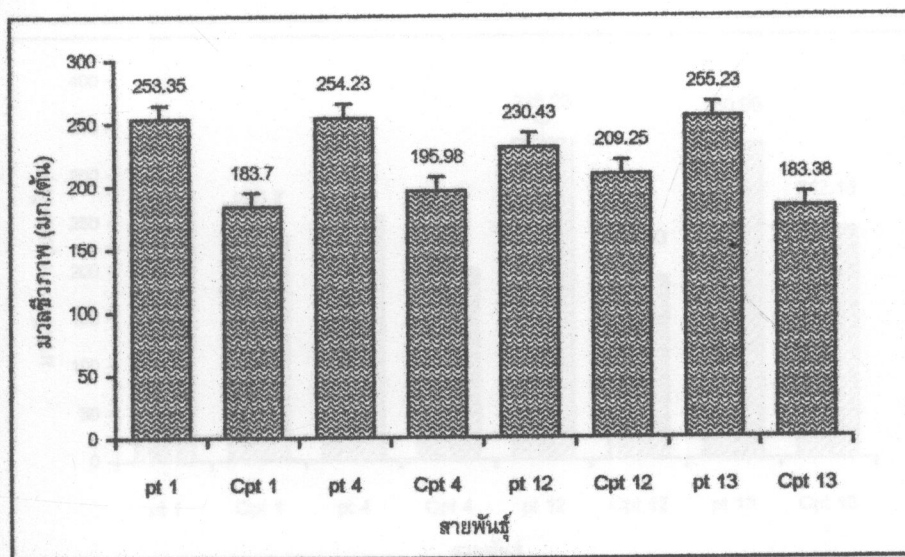
P. tinctorius ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีมวลชีวภาพส่วนใต้ดินมากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 48) ผลการ

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่ามีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อ

และชุดควบคุม ในสายพันธุ์ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่

ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ยกเว้นที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ที่ไม่แตกต่างจาก

ชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 48. มวลชีวภาพส่วนใต้ดินเฉลี่ยของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโต

ไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

อัตราการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (น้ำหนักแห้งของราก) ของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงมวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ที่ 12, 13, 1, และ 4 มีค่า 335.23, 330.95, 284.63, และ 256.80 มิลลิกรัม

ต่อต้น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้

ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 และ 13 มีความแตกต่างจากที่ใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ที่ 1 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

(ตารางที่ 14) เปรียบเทียบมวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุมใน

แต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มี

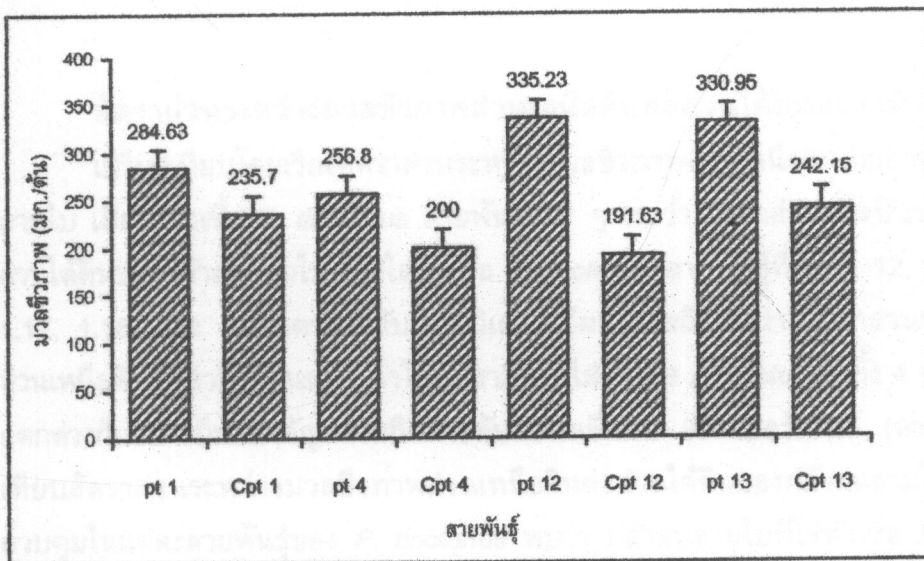
มวลชีวภาพส่วนใต้ดินมากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 49) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทาง

สถิติด้วยวิธี DMRT พบว่ามีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ในสายพันธุ์

P. tinctorius สายพันธุ์ที่ 4, 12 และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95

เปอร์เซนต์ ยกเว้นที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 ที่ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 49. มวลชีวภาพส่วนใต้ดินเฉลี่ยของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยอะเคโต

ไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt 4 คือ หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

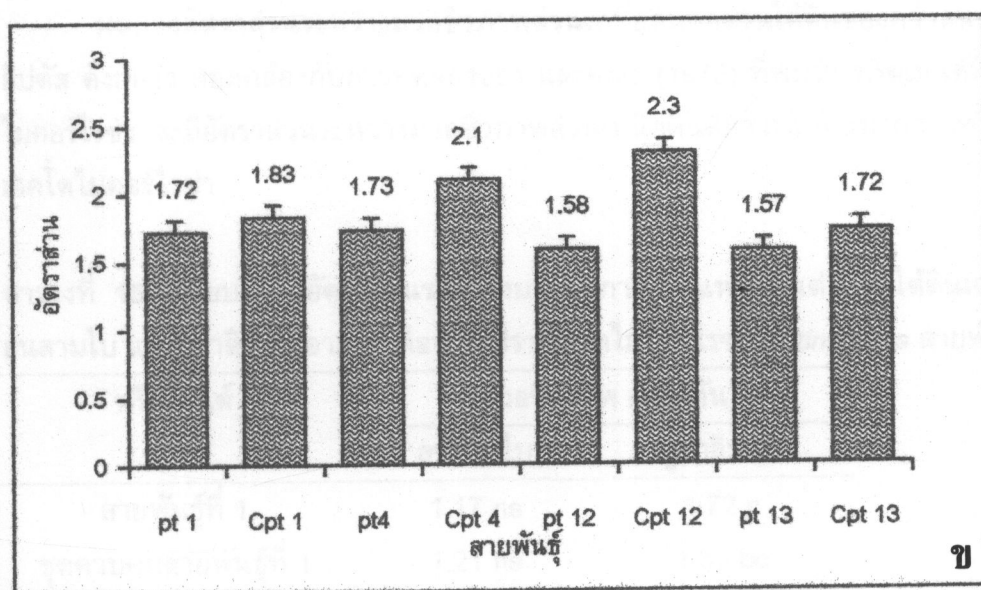
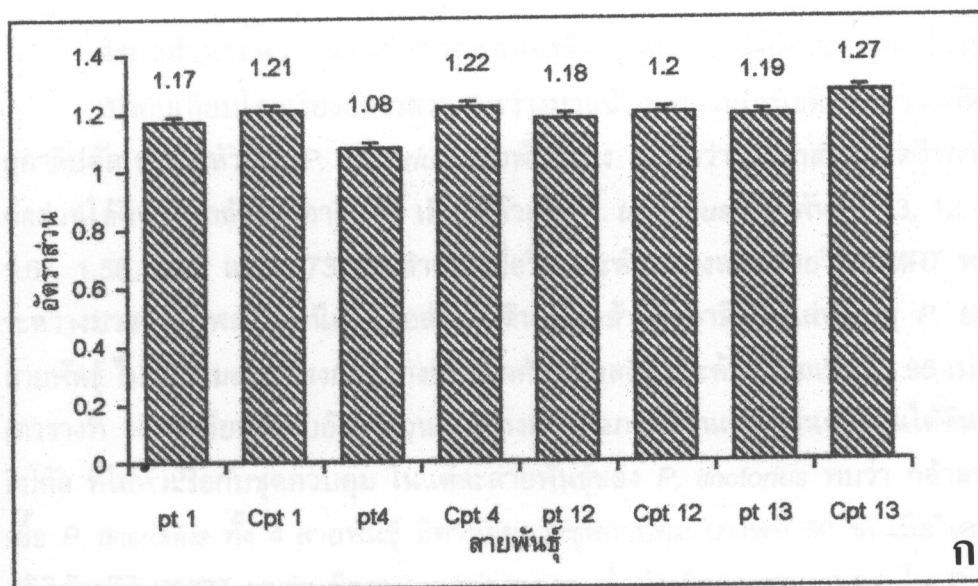
ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดินเฉลี่ยของกล้าไม้สนสามใบ และ
ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

ทรีตเม้นต์	มวลชีวภาพ (มก./ต้น)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	253.35 a	284.63 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	183.70 c	235.70 bcd
สายพันธุ์ที่ 4	254.23 a	256.80 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	195.98 bc	200.00 cd
สายพันธุ์ที่ 12	230.43 ab	335.23 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	209.25 bc	191.63 d
สายพันธุ์ที่ 13	255.28 a	330.95 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	183.38 c	242.15 bc

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนิ่ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่า
มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าสนสามใบ

เปรียบเทียบโดยเรียงอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน ของกล้าสน
สามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อ
ส่วนใต้ดินของกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, 1, 12, และ 13 มีค่า 1.08,
1.17, 1.18, และ 1.19 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพ
ส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้สนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 15) เปรียบ
เทียบอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อกับชุด
ควบคุมในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4
สายพันธุ์ มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 50 ก) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตก
ต่างของการใส่หัวเชื้อ และชุดควบคุมในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 50. อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินเฉลี่ยของก้ามไม้ อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

ก) ก้ามไม้สนสามใบ

ข) ก้ามไม้ยูคาลิปตัส

อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบโดยเรียงอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13, 12, 1, และ 4 มีค่า 1.57, 1.58, 1.72, และ 1.73 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 15) เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 50 ข) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ใน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 และ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลของอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าสนสามใบและยูคาลิปตัส ดังกล่าว สอดคล้องกับการทดลองของ และคณะ (1976) ที่พบว่า ทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะมีอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินมากกว่าทริตเมนต์ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินเฉลี่ยของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

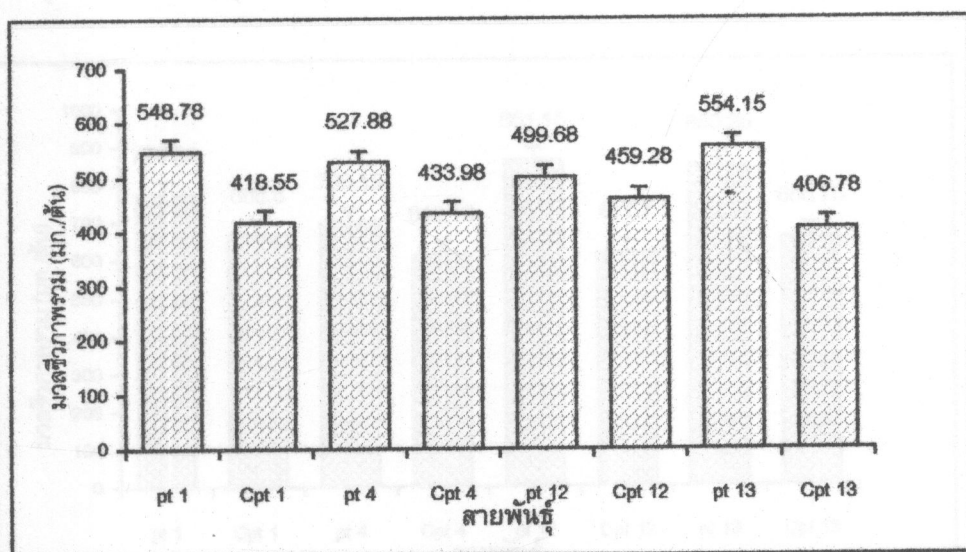
ทริตเมนต์	มวลชีวภาพ (มก./ต้น)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	1.17 ns	1.72 c
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	1.21 ns	1.83 bc
สายพันธุ์ที่ 4	1.08 ns	1.73 c
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	1.22 ns	2.10 ab
สายพันธุ์ที่ 12	1.18 ns	1.58 c
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	1.20 ns	2.30 a
สายพันธุ์ที่ 13	1.19 ns	1.57 c
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	1.27 ns	1.72 c

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามี

อัตราการเจริญมวลชีวภาพรวม (น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และราก) ของกล้าสนสามใบ

เปรียบเทียบการเจริญโดยเรียงมวลชีวภาพรวมของกล้าสนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มวลชีวภาพรวมของกล้าสนสามใบ ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13, 1, 4, และ 12 มีค่า 554.15, 548.78, 527.88, และ 499.68 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มวลชีวภาพรวมของกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 16) เปรียบเทียบมวลชีวภาพรวมของกล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ มีมวลชีวภาพรวมมากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 51) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ใน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ยกเว้นที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



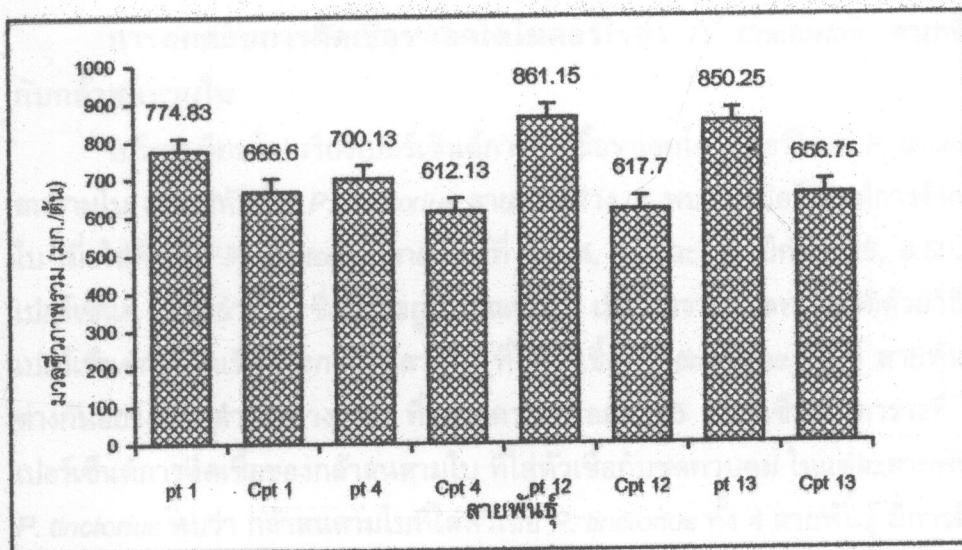
ภาพที่ 51. มวลชีวภาพรวมของกล้าสนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt 4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

อัตราการผลิตมูลชีวภาพรวม (น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และราก) ของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบการผลิตโดยเรียงมวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ

P. tinctorius สายพันธุ์ที่ 12, 13, 1, และ 4 มีค่า 861.15, 850.25, 774.83, และ 700.13 มิลลิกรัม ต่อต้น ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ 1, 12, และ 13 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ยกเว้นที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ที่มีความแตกต่างจากที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16) เปรียบเทียบมวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ มีมวลชีวภาพรวมมากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 52) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ใน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 12, และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ยกเว้นที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 52. มวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อใส่หัวเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ เมื่อ pt 1 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, Cpt 1 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1, pt 4 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4, Cpt 4 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4, pt 12 หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 12, Cpt 12 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12, pt 13 คือ หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* เชื้อสายพันธุ์ที่ 13, และ Cpt 13 คือ ชุดควบคุมที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบการเจริญทางด้านมวลชีวภาพรวมของกล้าไม้สนสามใบ และ
ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

ทรีต เมนต์	มวลชีวภาพ (มก./ต้น)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	548.78 a	774.83 ab
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	418.55 d	666.60 c
สายพันธุ์ที่ 4	527.88 ab	700.13 bc
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	433.98 cd	612.13 c
สายพันธุ์ที่ 12	499.68 abc	861.15 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	459.28 bcd	617.70 c
สายพันธุ์ที่ 13	554.15 a	850.25 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	406.78 d	656.75 c

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนิ่ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

**การทดสอบการติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้
กับกล้าสนสามใบ**

เปรียบเทียบโดยเรียงเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* ในกล้า
สนสามใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในกล้าสนสาม
ใบ เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, 4, 1, และ 13 มีค่า 9.25, 8.50, 8.25, และ 6.75
เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า
เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของกล้าสนสามใบ ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตก
ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 17) เปรียบเทียบ
เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของกล้าสนสามใบ ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ
P. tinctorius พบว่า กล้าสนสามใบที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีการติดเชื้อมากกว่าชุด
ควบคุม ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่าง
ของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่
ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบการติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ กับกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เปรียบเทียบโดยเรียงเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในกล้าไม้ยูคาลิปตัส เมื่อใส่ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12, 1, 13 และ 4 มีค่า 51.0, 46.5, 16.0, และ 12.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี DMRT พบว่า เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 และ 12 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งสองสายพันธุ์นี้ จะมีความแตกต่างจากที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 และ 13 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 17) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อกับชุดควบคุม ในแต่ละสายพันธุ์ของ *P. tinctorius* พบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่ใส่หัวเชื้อ *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีการติดเชื้อมากกว่าชุดควบคุม ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธี DMRT พบว่า มีความแตกต่างของการใส่หัวเชื้อและชุดควบคุม ใน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 และ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบการติดเชื้อของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่เพาะเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

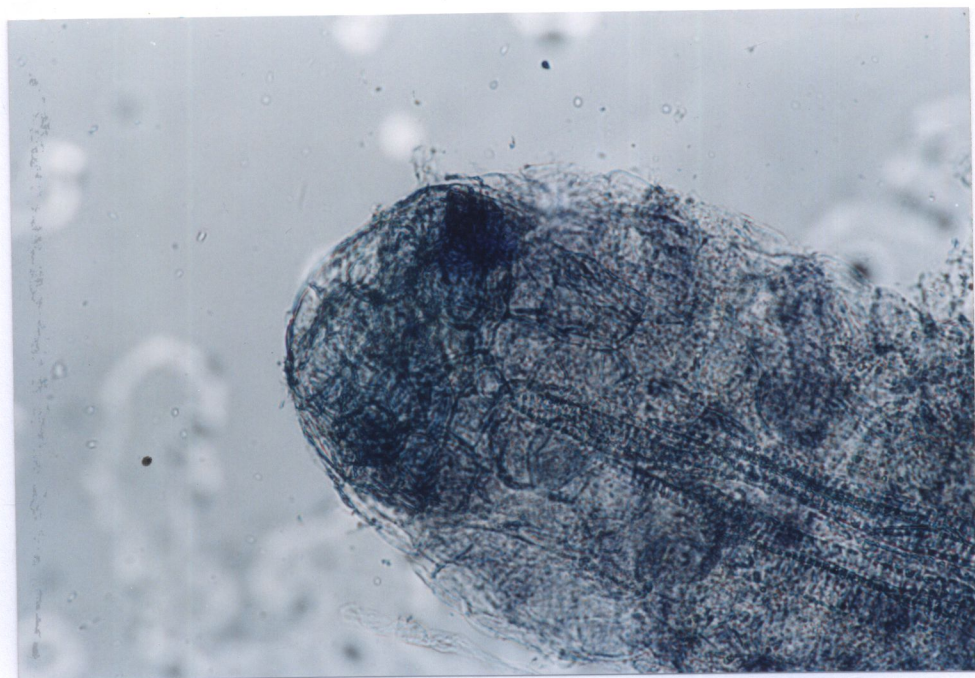
ทรีต เมนต์	การติดเชื้อ (%)	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	8.25 a	46.50 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	0 b	0 b
สายพันธุ์ที่ 4	8.50 a	12.00 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	0 b	0 b
สายพันธุ์ที่ 12	9.25 a	51.00 a
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	0 b	0 b
สายพันธุ์ที่ 13	6.75 a	16.00 b
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	0 b	0 b

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามอักษรในแนวนอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับด้านข้างต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$)

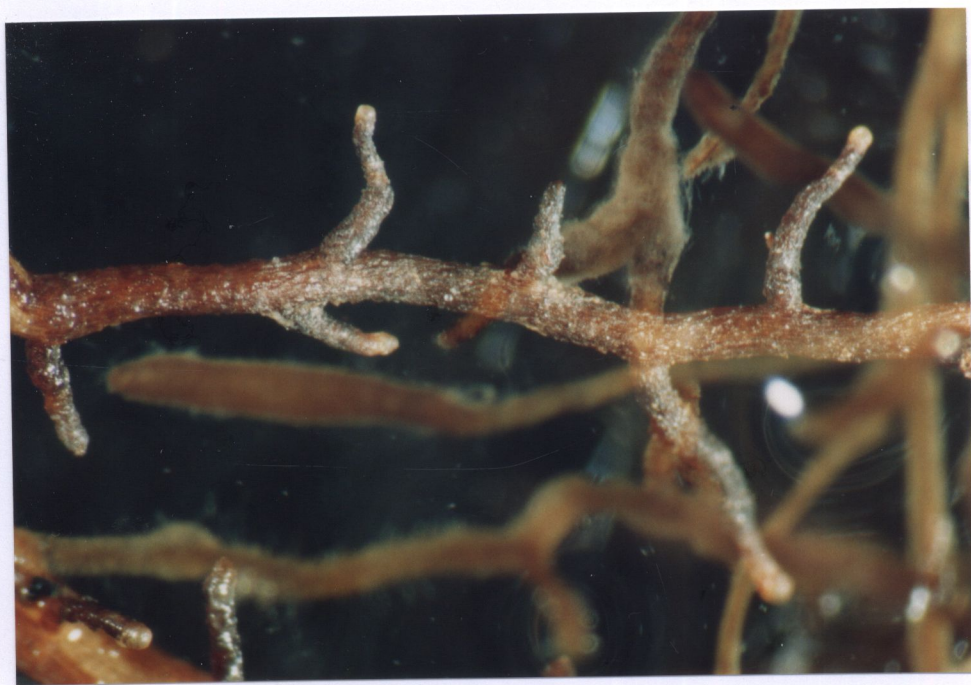
การศึกษาลักษณะการเกิดเอกโตไมคอร์ไรซากับรากของลำสนสามใบ และยูคาลิปตัส ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่ารากสนที่ติดรา *P. tinctorius* มีลักษณะเป็นรากเดี่ยวที่ไม่แตกแขนง (unbranched mycorrhizae) และรากที่แตกแขนงแบบง่าม (dichotomous) สีสน้ำตาลทองคล้ายสีของรา *P. tinctorius* ลักษณะของปลายราก (root tip) จะมีสีใส บวมพอง เป็นข้อปล้อง (ภาพที่ 53) เมื่อนำรากสนมาย้อมสี และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า จะมีการติดสีบริเวณปลายรากแต่ค่อนข้างน้อย สังเกตเห็นแผ่นแมนเทิลค่อนข้างบางมาก (ภาพที่ 54) สำหรับลำไม้ยูคาลิปตัส จะมีลักษณะการเกิดเอกโตไมคอร์ไรซาแบบ monopodial pinnate (ภาพที่ 57 ก, ข) ซึ่งเป็นรากเดี่ยวที่ไม่แตกแขนง แผ่นแมนเทิลมีสีเหลืองแวววาว สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เมื่อนำมาย้อมสี และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะสามารถสังเกตเห็นการติดสีเข้ม ชัดเจน สามารถเห็นเส้นใย และ clamp connection ได้ แผ่นแมนเทิลเจริญอยู่หนาแน่น บริเวณผิวราก (ภาพที่ 57 ง, จ)



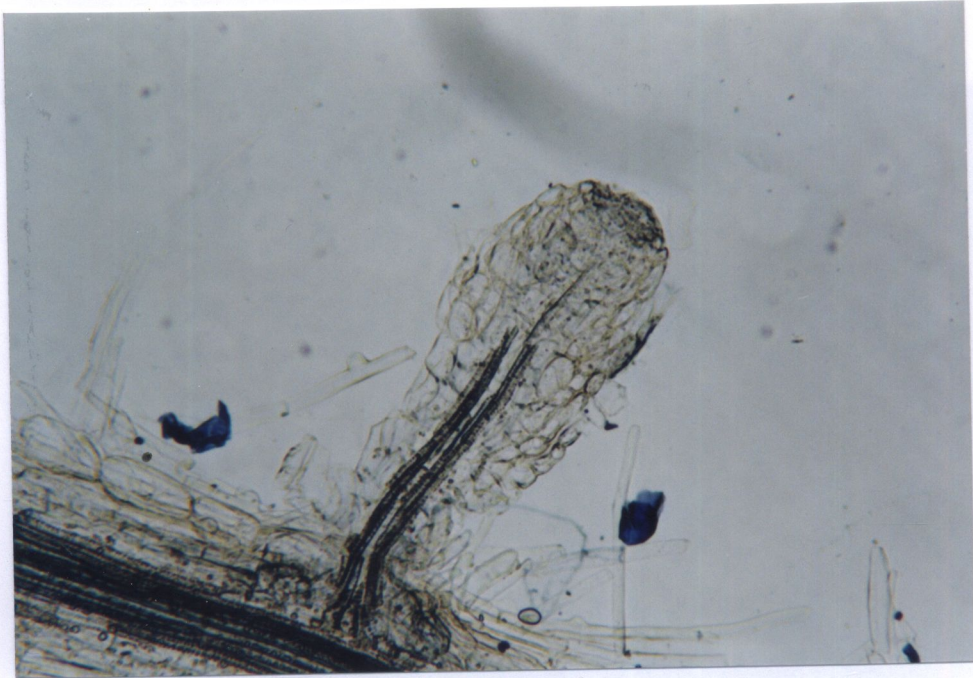
ภาพที่ 53. ลักษณะของการเกิดเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ในรากไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน แสดงลักษณะการแตกแขนงของราก เมื่อศึกษาด้วยกล้องสแตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 38 เท่า



ภาพที่ 54 ลักษณะของรากเอคโตไมคอร์ไรซ่าของกล้าสนสามใบ ที่ย้อมติดสี Trypan blue in lactoglycerol เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 210 เท่า

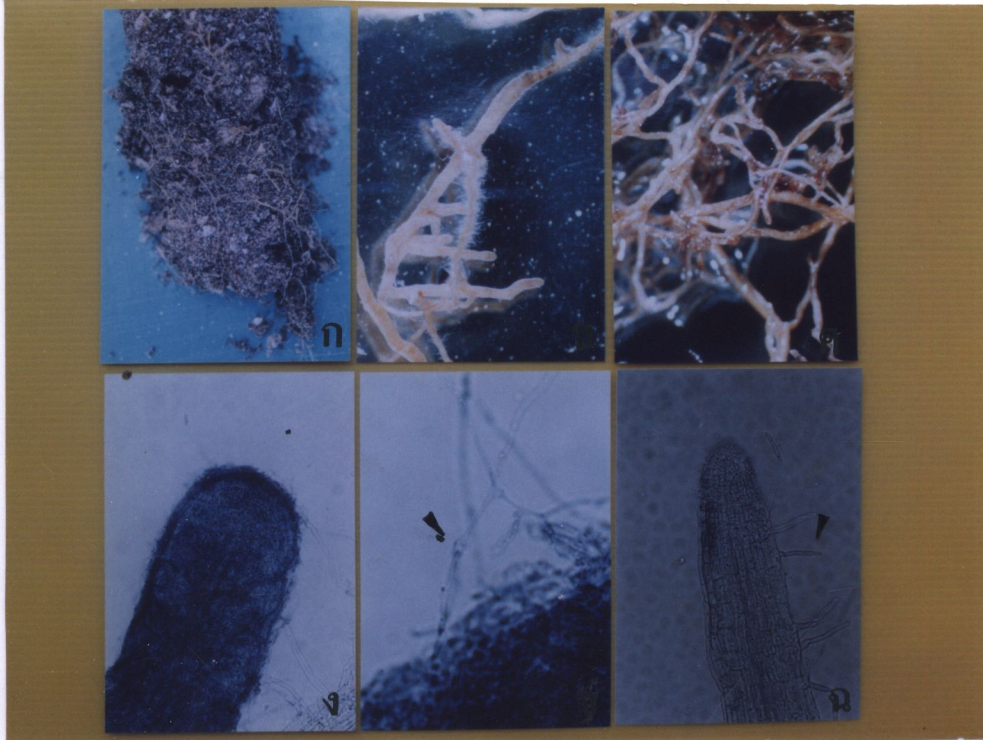


ภาพที่ 55 ลักษณะของรากสนสามใบที่ไม่เกิดเอคโตไมคอร์ไรซ่า เมื่อศึกษาด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 28 เท่า



ภาพที่ 56. ลักษณะของรากที่สนสามใบในทรีตเมนต์ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4 ไม่ติดสีย้อม Trypan blue in lactoglycerol เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 156 เท่า

จากผลการทดสอบของราเอกโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ต่อการเร่งอัตราการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน สามารถนำมาสรุปผลได้ตั้งตารางที่ 18 โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยในการตอบสนองการเจริญด้านต่าง ๆ ของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 เหมาะต่อการเติมใส่ในกล้าสนสามใบ มากกว่า *P. tinctorius* สายพันธุ์อื่น ส่วน *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 จะเหมาะต่อการเติมใส่ในกล้าไม้ยูคาลิปตัส มากกว่า *P. tinctorius* สายพันธุ์อื่น



ภาพที่ 57. ลักษณะการสร้าง และไม่สร้างรากเอกโตไมคอร์ไรซ่าแบบ monopodial pinnate บนรากไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน

- ก) เส้นใยไมคอร์ไรซ่าที่เจริญอยู่บนราก และที่ประสานตัวกันระหว่างก้อนดิน
- ข) ลักษณะของรากเอกโตไมคอร์ไรซ่า เมื่อศึกษาด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 30 เท่า
- ค) ลักษณะของรากยูคาลิปตัสที่ไม่ติดเชื้อไมคอร์ไรซ่า เมื่อศึกษาด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 39 เท่า
- ง) ลักษณะของรากที่ย้อมติดสี Trypan blue in lactoglycerol สามารถสังเกตเห็นเส้นใยเจริญอยู่บนบริเวณรอบผิวราก กำลังขยาย 366 เท่า
- จ) ลักษณะของเส้นใยที่เจริญออกมา สังเกตเห็น clamp connection (หัวลูกศร) กำลังขยาย 1333 เท่า
- ฉ) ลักษณะของรากที่ไม่ติดเชื้อเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า จะมีลักษณะเรียว สังเกตเห็นขนราก (root hair) ได้ (หัวลูกศร)

ตารางที่ 18 สรุปการตอบสนองการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

ชนิดไม้	ทรีตเมนต์	การเจริญของกล้าไม้							
		Height (H)	Diameter (D)	H/D ratio	Shoot (S)	Root (R)	S/R ratio	Total	% infection
สนสามใบ	สายพันธุ์ที่ 1								
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1								
	สายพันธุ์ที่ 4			●			●		
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4								
	สายพันธุ์ที่ 12								●
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12								
	สายพันธุ์ที่ 13	●	●		●	●		●	
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13								
ยูคาลิปตัส	สายพันธุ์ที่ 1	●							
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1								
	สายพันธุ์ที่ 4								
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4								
	สายพันธุ์ที่ 12		●	●	●	●	●	●	●
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12								
	สายพันธุ์ที่ 13						●		
	ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13								

หมายเหตุ Height คือ ความสูงของลำต้น, Diameter คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น
H/D คือ อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น, Shoot คือ มวลชีวภาพส่วนเหนือดิน Root คือ มวลชีวภาพส่วนใต้ดิน, S/R คือ อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน,
Total คือ มวลชีวภาพรวม, % Infection คือ เปอร์เซนต์การติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius*
● หมายถึง ให้การตอบสนองการเจริญในค่านั้น ๆ ดีที่สุด

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา การที่จะเพิ่มปริมาณเส้นใยในปริมาณมาก ๆ เพื่อผลิตเป็นหัวเชื้อสำหรับเพาะให้กับกล้าไม้สำหรับพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งมีความตกต่างในด้านอุณหภูมิ และ pH จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซาชินดินนั้น ๆ

อุณหภูมิ และ pH เป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ และมีผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา การทราบถึงระดับที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวนี้ จะทำให้สามารถเลี้ยงเส้นใยสำหรับใช้เป็นหัวเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ เส้นใยสามารถเจริญและเกิดการพัฒนาเป็นไมคอร์ไรซากับรากพืช และส่งผลดีต่อการอยู่รอดและการเจริญของกล้าไม้ได้ในที่สุด

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย จำนวนทั้งสิ้น 14 สายพันธุ์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับ pH ปกติ (5.7-5.8) ระยะเวลา 30 วัน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ทุกสายพันธุ์อยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตาม การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ก็จะมี ความแปรผันมากน้อยแตกต่างกันไป อย่างเห็นได้ชัดในทุกระดับอุณหภูมิที่ทดสอบ แสดงให้เห็นว่าความแปรผันทางพันธุกรรม ภายในชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละสายพันธุ์มีผลต่อการเจริญของเส้นใยรา (Trappe, 1977; Cline et al., 1987; Samson & Fortin, 1986) ดังนั้นถ้าหากว่าสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยเพียง 2-3 สายพันธุ์ แล้วจะสรุปว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของราเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดอยู่ที่ระดับใดระดับหนึ่ง จึงอาจจะไม่ถูกต้องนักเพราะอาจจะไม่สามารถเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน และควรจะพิจารณาว่าเป็นสายพันธุ์ใดประกอบด้วย

Harley (1969) และ Harley & Smith (1983) รายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 18-27 องศาเซลเซียส แต่สำหรับรา *P. tinctorius* แล้ว Marx และคณะ (1970) และ Cline และคณะ (1987) ได้จัดให้อยู่ในพวกที่เป็น high-temperature fungi สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้ รา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบจึงอาจจัดอยู่ในกลุ่มของ high-temperature fungi ได้เช่นเดียวกัน สาเหตุที่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ที่นำมาทดลอง เจริญอยู่ในป่าเขตร้อน

และมีพืชอาศัยคือ ยูคาลิปตัส และสนสามใบ ซึ่งไม้ทั้งสองชนิดนี้เป็นพืชที่มีระบบรากลึก และเจริญได้ดีในพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้ง ดินลูกรัง หรือดินร่วนปนทราย ดังนั้นจึงมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสูงกว่าที่ Harley และ Smith (1983) รายงานไว้ข้างต้น Marx และคณะ (1977, 1984) ยังระบุว่าราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* จะพบขึ้นได้ง่ายในดินเหมืองแร่ ดินที่มีการพังทลายสูง ซึ่งมีอุณหภูมิผิวดินค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด หรือต่างสายพันธุ์ จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับว่าพิจารณาที่จะใช้สายพันธุ์ใด

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ในการทดลองนี้ บอกให้ทราบถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) ต่อการเจริญเท่านั้น ไม่รวมถึงระดับอุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature) และอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature) ที่เส้นใยรา *P. tinctorius* สามารถเจริญได้ แต่ก็ได้มีผู้ที่ได้ทำการศึกษาไว้บ้าง และพบว่าเส้นใยรา *P. tinctorius* สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส (Marx et al., 1970) นอกจากนี้ยังสามารถเจริญและอยู่รอดได้ภายหลังจากการเก็บที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (France et al., 1979) เส้นใยของรา *P. tinctorius* จะตายที่ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Lamb & Richards, 1971) จากการศึกษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีการเจริญของเส้นใย แต่เมื่อนำขวดเลี้ยงเชื้อมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (24-25 องศาเซลเซียส) เส้นใยจะเจริญกลับคืนมาได้ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยยังมีชีวิตอยู่ สอดคล้องกับรายงานของ Marx (1969) ที่พบว่าเส้นใยของรา *P. tinctorius* จะถูกยับยั้งการเจริญที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเช่นกัน การที่ไม่มีการเจริญที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสนั้น น่าจะมีสาเหตุมาจาก อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม จะมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ หรือมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ การสร้างกรดอะมิโนและวิตามินบางชนิด ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย (Harley, 1969; Cline et al., 1987) เมื่อเปรียบเทียบผลของการเจริญของรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ที่แยกได้ กับสายพันธุ์อื่น ๆ ดังรายงานของ Samsom และ Fortin (1986) หรือ Liangjing และ Zhida (1994) พบว่า รา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์นี้ จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญสูงกว่า

การศึกษาผลของ pH ต่อการเจริญของเส้นใยราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ในการทดลองนี้ใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ปรับ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ แทนการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ตามที่ใช้กันปกติ เนื่องจากปัญหามลพิษทางอากาศในปัจจุบัน เกี่ยวข้องกับการเกิดฝนกรด ซึ่งมีผลต่อการเจริญของต้นไม้ การทดสอบความสามารถในการเจริญของรา *P. tinctorius* ภายใต้สภาวะเช่นนี้ จึงน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคต และไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ร่วมในการปรับ pH ด้วย เนื่องจากสารละลายบัฟเฟอร์มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซา (Giltrap & Lewis, 1981)

ผลการศึกษาการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH ต่าง ๆ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน พบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย จะแปรผันแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ บางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ดีที่ pH ที่เหมาะสม เช่นสายพันธุ์ที่ 1, 2, 4, และ 8 เจริญได้ดีที่ pH 6 หรือ 7 ขณะที่บางสายพันธุ์เจริญได้ในช่วง pH ที่กว้างกว่า เช่นสายพันธุ์ที่ 3, 13, และ 14 สามารถเจริญได้ที่ pH 3-7 เป็นต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการเจริญของรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ที่แยกได้ กับสายพันธุ์อื่น ๆ ดังรายงานของ Hung และ Trappe (1983) หรือ Liangqing และ Zhida (1994) พบว่า รา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์นี้ มีระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญที่ใกล้เคียงกันกับรา *P. tinctorius* สายพันธุ์อื่น ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 5 - 7 Hung และ Trappe (1983) รายงานว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถเจริญในช่วง pH ที่กว้าง โดยทั่วไปจะเจริญได้ที่ pH 3.2-6.5 และมี pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 แต่ก็มียราเอคโตไมคอร์ไรซาบางชนิด สามารถเจริญได้ที่ pH 6.8 และ 8.3 (Bokor, 1959 อ้างใน Hung & Trappe, 1983) Laiho (1970) ทดสอบการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา *Paxillus involutus* (Batsch: Fr.) จำนวนหลาย สายพันธุ์ และพบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยรา มีค่าอยู่ระหว่าง 3.2-6.4 แสดงให้เห็นว่า pH ที่เหมาะสมจะแปรผันแตกต่างกันไปตามชนิด หรือสายพันธุ์ของราเอคโตไมคอร์ไรซา แต่อย่างไรก็ตามการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาที่แตกต่างกัน ที่ระดับ pH ต่าง ๆ นั้น ส่วนหนึ่งเกิดมาจากทริคเมนต์ที่ใช้ในการทดลองของผู้ทำการศึกษาที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น จึงยอมทำให้พบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด หรือแต่ละสายพันธุ์นั้น แปรผันแตกต่างกันไปด้วย

ที่ pH 9 ไม่พบว่ามี การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าระดับความเข้มข้นของ Na^+ ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีมากเกินไป และส่งผลต่อการเจริญของเส้นใยราในที่สุด (Theodorou & Bowen, 1969) นอกจากนี้ราเอคโตไมคอร์ไรซานั้นจัดอยู่ในพวก acidophilic fungi ซึ่งสามารถเจริญได้ในช่วง pH ระหว่าง 3.5- 6 (Molina & palmer, 1982)

การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN หลังจากการเลี้ยงเส้นใยรา *P. tinctorius* ครบ 30 วัน พบว่า pH มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 8) เนื่องจากในระหว่างการเจริญเส้นใยราปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาเพื่อแลกเปลี่ยนกับสารดูดซับบางตัว เช่น NH_4^+ (Harley & Smith 1983) หรืออาจจะสร้างกรดบางชนิดออกมา (Tan et al. 1978; Hung & Trappe, 1983; Lianqing & Zhida, 1994)

จากผลการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน ที่วัดจากความสูงลำต้น, เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น, อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น, มวลชีวภาพส่วนเหนือดิน (น้ำหนักแห้งของลำต้น และ ใบ), มวลชีวภาพ

ส่วนใต้ดิน (น้ำหนักแห้งของราก), อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน, และ มวลชีวภาพรวม (น้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ และราก), ในทริตเมนต์ที่เพาะหัวเชื้อเส้นใย

P. tinctorius สายพันธุ์ที่ 1, 4, 12 และ 13 มีการเจริญของกล้าไม้ ดีกว่าทริตเมนต์ชุดควบคุมของแต่ละสายพันธุ์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางสถิติ ของแต่ละทริตเมนต์ที่เพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ หรือเทียบกับชุดควบคุม กลับพบว่าในหลาย ๆ พารามิเตอร์ที่ใช้วัดการเจริญของกล้าไม้ เช่น ความสูงลำต้น, เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น, อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น, อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน มีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อของราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 6-9 และ 12-51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Marx และคณะ (1977, 1982, 1984a) พบว่า การที่กล้าไม้จะได้รับการส่งเสริมการเจริญอย่างเต็มที่ ภายหลังการใส่เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* แล้วนั้น ควรจะมีการติดเชื้อไม่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับนี้ยังแสดงถึงความมีชีวิตอยู่รอด (viability) และ ประสิทธิภาพ (effectiveness) ของหัวเชื้อเส้นใยด้วย สาเหตุที่มีการติดเชื้อต่ำในกล้าไม้ทั้งสองชนิด อาจเกิดจากช่วงเวลาในการใส่หัวเชื้อเส้นใยลงไปในภาคเพาะไม่เหมาะสม เนื่องจากใส่หัวเชื้อเส้นใยลงไปในวันปลูกก่อนที่จะมีการงอก ทำให้เส้นใยราขาดรากพืชสำหรับเกาะอาศัย ซึ่งจากรายงานของ Melin (1962) และ ผลการค้น (2523) พบว่า เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา จำเป็นต้องมีพืชอาศัยสำหรับเกาะยึด เพื่อที่จะได้รับสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ นอกจากนี้ฤดูกาลปลูกที่ไม่เหมาะสม ก็อาจส่งผลต่อการเจริญของกล้าไม้เช่นกัน เนื่องจากการทดลองนี้กระทำในช่วงปลายฤดูร้อนอย่างรุนแรง สภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน อุณหภูมิในเรือนเพาะชำค่อนข้างสูง บางวันเกิดฝนตกหนัก ส่งผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นในดินสูงตาม (ตารางผนวกที่ 2 และ 3) ทำให้รากของกล้าไม้ไม่สามารถเจริญ และพัฒนาอย่างเต็มที่ที่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปในดิน ซึ่งทำให้เกิดภาวะน้ำขัง หรือน้ำท่วม (waterlogged) จะมีผลกระทบต่อการเจริญของกล้าไม้รากพืชที่ถูกน้ำท่วมจะอยู่ในสภาพ anaerobic เพราะขาดก๊าซออกซิเจนสำหรับหายใจ กิจกรรม การหายใจในราก (root respiration) จะหยุดชะงัก สารสังเคราะห์ที่ถูกขับจากราก (root exudate) ที่จำเป็นต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาก็จะถูกจำกัดลง สภาพ anaerobic ที่เกิดขึ้นยังส่งผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาด้วยเพราะโดยปกติแล้วราเอคโตไมคอร์ไรซานั้นต้องการระดับออกซิเจนที่เหมาะสมในการเจริญ (Harley, 1969; Harley & Smith, 1983) ดังนั้นสภาพความชื้นในดินสูงจึงมีผลต่อการติดเชื้อในรากพืชได้ (Worley & HacsKaylo, 1959; Gadgil, 1972) จากรายงานของ Theodorou (1978) พบว่า ปริมาณความชื้นในดินที่เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้การเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซา *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. ลดลง และทำให้การติดเชื้อรา *R. luteolus* ในรากของกล้าไม้สน *Pinus*

radiata D. Don. ลดลงด้วย ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น Bougher และ Malajczuk (1990) ยังพบว่า เมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) ลดลง และส่งผลให้การเจริญทางความสูง และมวลชีวภาพรวมของต้นกล้า ในทรีดเมนต์ที่ใส่เชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแล้ว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การต่อขยายเชื้อ *P. tinctorius* บ่อย ๆ หรือเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อนาน ๆ อาจมีผลทำให้รา *P. tinctorius* สูญเสียความสามารถในการสร้างไมคอร์ไรซากับรากไม้ได้ ซึ่ง Trappe (1977) รายงานว่า รา *P. tinctorius* เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อนาน เป็นระยะเวลา 2-3 ปี จะทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างไมคอร์ไรซาลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากปริมาณ inoculum ที่ใช้ต่อวัสดุปลูก อยู่ในอัตราส่วนที่ค่อนข้างต่ำ (1 : 8) อาจจะไม่พอเหมาะที่จะทำให้เกิดการติดเชื้อในกล้าไม้ทั้งสองชนิด ซึ่ง Khemnark (1982) พบว่า ถ้าปริมาณ inoculum ที่ใช้ต่ำเกินไป จะทำให้เกิดการติดเชื้อ หรือการพัฒนาของรากเอกโตไมคอร์ไรซาเป็นไปอย่างช้าได้ ดังนั้นการศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณ inoculum ต่อวัสดุปลูกสำหรับราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ที่ขึ้นอยู่ในสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาต่อไปในอนาคต

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส พบว่าเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในกล้าไม้สนสามใบ จะมีค่าต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในกล้าไม้ยูคาลิปตัส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* มีปฏิสัมพันธ์กับระบบรากของไม้ยูคาลิปตัส ได้ดีกว่าระบบรากของกล้าไม้สนสามใบ Malajczuk และคณะ (1990) ได้รายงานไว้ว่า ราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ที่แยกได้จากดอกเห็ดในป่าสน เมื่อนำมาทดสอบการสร้างเอกโตไมคอร์ไรซากับกล้าไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) เปรียบเทียบกับรา *P. tinctorius* ที่แยกได้จากดอกเห็ดในป่ายูคาลิปตัส เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อจะต่ำ (2-8 เปอร์เซ็นต์) แม้ว่าการเจริญของรา *P. tinctorius* ที่แยกได้จากดอกเห็ดในป่าสนสามใบ และยูคาลิปตัส จะมีการเจริญที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเลี้ยงอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ และอธิบายว่าน่าจะเกิดจาก รา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกันในระดับความเหมาะสมกับพืชอาศัย Burgess และคณะ (1994) ยังพบอีกว่า รา *P. tinctorius* สายพันธุ์จากป่าสนค่อนข้างที่จะมีการสร้างรากเอกโตไมคอร์ไรซาที่ต่ำ (น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเพาะเลี้ยงให้กับกล้าไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) ทั้งนี้เนื่องจาก รา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์มีความเข้ากันได้เหมาะสม (compatible) หรือไม่เหมาะสมกับพืชอาศัย (incompatible) แตกต่างกัน ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการติดเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้สนสามใบ คือการเกิดการระบาดของรา *Alternaria longipes* (Ellis & Everh.) ในแปลงเพาะ ซึ่งเกิดกับกล้าไม้สนสามใบ เมื่ออายุได้ประมาณ 2 เดือน ราชินิ์นี้อาจมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ได้ และทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *P. tinctorius* อยู่

ในเกณฑ์ต่ำ แม้จะไม่สามารถพบรายงานเกี่ยวกับการยับยั้ง การเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาโดย ราชชนิดนี้ แต่ Levisohn (1960 อ้างใน จิตรา, 2539) ได้รายงานไว้ว่า รา *Alternaria tenuis* มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซาในสกุล *Boletus* และ *Rhizopogon* หลาย ชนิด อย่างไรก็ตามการที่เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัสอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ก็ได้หมายความว่า รา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์นั้น มีความไม่เข้ากันได้เหมาะสมกับกล้าไม้สนสามใบ หรือยูคาลิปตัส หรือมีความจำเพาะเจาะจงกับกล้าไม้ชนิดใดชนิดหนึ่ง ปัจจัยสภาพแวดล้อมในเรือนเพาะชำ เช่น สภาพภูมิอากาศ ความชื้น ดังกล่าวมาข้างต้น ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่อาจมีผลต่อความเข้ากันได้เหมาะสม กับกล้าไม้ ทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่ง Marx และ Bryan (1970) พบว่า การที่รา *P. tinctorius* ที่แยกได้จากดอกเห็ดในป่าสน บางสายพันธุ์ไม่สามารถสร้างรากเอคโตไมคอร์ไรซากับกล้าไม้สนเขา ในเรือนเพาะชำได้ ปัจจัยดิน ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาประกอบกัน

ผลการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่ารา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้แตกต่างกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Molina (1979) ที่พบว่า นอกจากจะมีความแปรผันแตกต่างกันในการเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว รา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ยังมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้ที่แตกต่างกันด้วย รา *P. tinctorius* ที่เจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ ไม่ได้มีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้ได้ดีเสมอไป ซึ่งจะเห็นได้ว่า รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ที่มีการเจริญต่ำกว่ารา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 13 เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ สามารถส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ได้ดีกว่า แสดงนัยว่า รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ดังกล่าวที่เจริญดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ อาจจะไม่สามารถปรับตัวให้เจริญได้ดีในสภาพดินหรือสภาพแวดล้อมธรรมชาติ นอกจากนี้ ในสภาพพื้นที่หนึ่ง ๆ ราเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิด หรือแต่ละสายพันธุ์ อาจจะมีเหมาะสม และเป็นประโยชน์กับกล้าไม้ ได้มากกว่าราเอคโตไมคอร์ไรซา อีกชนิดหรืออีกสายพันธุ์ ดังนั้นการคัดเลือกรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ สามารถเจริญและปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่กว้าง เช่น รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 หรือสายพันธุ์ที่ 13 จึงอาจจะมีความเหมาะสมมากกว่า

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษา การคัดเลือก *Pisolithus tinctorius* ราเอกโตไมคอร์ไรซา เพื่อใช้ในโครงการปลูกป่าในประเทศไทย ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1) ราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* มีการกระจายพันธุ์ที่กว้าง สามารถพบได้ในทุกภาคของประเทศไทย ยกเว้นภาคใต้ ที่ไม่ได้มีการสำรวจ สามารถพบได้ในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม- กันยายน ในป่าสนเขา และสวนป่ายูคาลิปตัส สามารถแยกเส้นใยที่บริสุทธิ์ของรา *P. tinctorius* ได้ทั้งหมด 14 สายพันธุ์ ซึ่งทั้ง 14 สายพันธุ์นี้ จะอาศัยอยู่กับพืชจำพวกสนสามใบ (*P. kesiya*) และ ยูคาลิปตัส (*E. camaldulensis*) เป็นส่วนใหญ่

2) ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* เมื่อเลี้ยงเส้นใยรา *P. tinctorius* ที่แยกได้ทั้ง 14 สายพันธุ์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Modified Melin -Norkran (MMN) ระดับ pH ปกติ บ่มที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 30 วัน วัดผลการเจริญเป็นน้ำหนักแห้งของเส้นใยรา ต่อปริมาตรของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 50 มิลลิลิตร พบว่า อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ การเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเจริญของเส้นใยรา *P. tinctorius* ที่อุณหภูมิ 20 และ 40 องศาเซลเซียส

3) ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* เมื่อเลี้ยงเส้นใยรา *P. tinctorius* ทั้ง 14 สายพันธุ์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN ที่ระดับ pH 3, 5, 6, 7, และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 30 วัน วัดผลการเจริญเป็นค่าน้ำหนักแห้งของเส้นใยราต่อปริมาตรของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 50 มิลลิลิตร พบว่า รา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ มีระดับ pH ที่เหมาะสมในการเจริญที่ต่างกัน รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 เจริญได้ดีที่ pH 7, สายพันธุ์ที่ 2, 4, และ 8 เจริญได้ดีที่ pH 6, สายพันธุ์ที่ 5, 6, 7, 9, และ 12 เจริญได้ดีที่ pH 5-6, สายพันธุ์ที่ 10, 11 เจริญได้ดีที่ pH 3-6, และสายพันธุ์ที่ 3, 13, และ 14 เจริญได้ดีที่ pH 3-7 สามารถแบ่งกลุ่มของ

รา *P. tinctorius* ตามรูปแบบการเจริญโดยใช้ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของรา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์เป็นเกณฑ์ ได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เจริญได้ดีที่ระดับ pH ที่เหมาะสม ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 2, 4, และ 8 กลุ่มที่เจริญเจริญได้ดีในช่วง 2 ระดับ pH ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 5, 6, 7, 9, และ 12 กลุ่มที่เจริญได้ดีในช่วง 3 ระดับ pH ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 10 และ 11 และ กลุ่มที่เจริญได้ดีในช่วงที่ 4 ระดับ pH ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 3, 13, และ 14

การเปลี่ยนแปลงของ pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MMN บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 30 วัน พบว่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับการเจริญของเส้นใยรา กล่าวคือ ถ้ามีการเจริญมาก pH ก็จะลดลงมาก

4) สามารถคัดเลือกสายพันธุ์รา *P. tinctorius* ได้ 4 สายพันธุ์ ที่เป็นตัวแทนจากกลุ่มที่มีรูปแบบการเจริญต่าง ๆ ในข้อ 3 และเป็นตัวแทนของพืชอาศัย 2 ชนิด คือ สานสามใบ และยูคาลิปตัส อย่างละ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 เป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้ดีที่ pH 7 แยกจากดอกเห็ดที่เก็บจากสวนป่ายูคาลิปตัส จ. ยโสธร, รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 เป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้ดีที่ pH 6 แยกจากดอกเห็ดที่เก็บจากป่าสนเขา จ. เชียงใหม่, รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 เป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้ดีที่ pH 5-6 แยกจากดอกเห็ดที่เก็บจากสวนป่ายูคาลิปตัส จ. ตาก, รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 เป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้ดีที่ pH 3-7 แยกจากดอกเห็ดที่เก็บจากป่าสนเขา อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จ. เพชรบูรณ์

5) ผลของรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ ต่อการเจริญของกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส เมื่อใส่หัวเชื้อเส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในเรือนเพาะชำ เปรียบเทียบผลกับชุดควบคุมที่ได้นำหัวเชื้อเส้นใยของรา *P. tinctorius* มาหมักเชื้อ ก่อนใส่ให้กับกล้าไม้ ผลสรุปได้ดังนี้

5.1) การเจริญของความสูงลำต้น พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ทำให้กล้าไม้มีการเจริญของความสูงลำต้น มากกว่ากล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัสในทรีตเมนต์ชุดควบคุมทุกสายพันธุ์ ยกเว้นในกล้าไม้สนสามใบที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 สำหรับกล้าไม้สนสามใบ การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ให้ค่าความสูงของลำต้นสูงสุด (18.36 ซม.) ส่วนกล้าไม้ยูคาลิปตัส จะให้ค่าความสูงของลำต้นสูงสุด ในทรีตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1 (30.15 ซม.)

5.2) การเจริญของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ทำให้กล้าไม้มีการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากลำต้น มากกว่า กล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุมทุกสายพันธุ์ ในส่วนของกล้าไม้สนสามใบ การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นมากที่สุด (1.71 มม.) สำหรับกล้าไม้ยูคาลิปตัส พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นสูงสุด เท่ากับ 2.10 มม.

5.3) อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้น พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ทำให้กล้าไม้มีคุณภาพดีกว่า กล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุม สำหรับกล้าไม้สนสามใบ พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 ให้ค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของลำต้นต่ำสุด (103.39) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์อื่น ๆ สำหรับกล้าไม้ยูคาลิปตัส มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในทรีตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 (143.05) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่น ๆ

5.4) การเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน (น้ำหนักแห้งของใบ และลำต้น) พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ทำให้กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน มากกว่ากล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัสในทรีตเมนต์ชุดควบคุม ในส่วนของกล้าไม้สนสามใบ พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินมากที่สุด (298.88 มก./ต้น) สำหรับกล้าไม้ยูคาลิปตัส พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินมากที่สุด (525.93 มก./ต้น)

5.5) การเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (น้ำหนักแห้งของราก) พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุม ในส่วนของกล้าไม้สนสามใบ การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดินสูงสุด สำหรับกล้าไม้ยูคาลิปตัส มีการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดินสูงสุดในทรีตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใยสายพันธุ์ที่ 12 (335.23 มก./ต้น)

5.6) อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใยรา *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ทำให้กล้าไม้มีค่าอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน ต่ำกว่ากล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในทรีตเมนต์ชุดควบคุม ในส่วนของกล้าไม้สนสามใบ การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4 จะให้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินต่ำสุด (1.08) แต่ไม่พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเทียบกับทริตเมนต์อื่น ๆ สำหรับกล้าไม้ยูคาลิปตัส จะให้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินต่ำสุด ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 และ 13 เท่ากัน มีค่าเป็น 1.58

5.7) การเจริญมวลชีวภาพรวม (น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และราก) พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ทำให้ กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพรวมมากกว่า กล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ในทริตเมนต์ชุดควบคุม ในส่วนของกล้าไม้สนสามใบ พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพรวม มากที่สุด (554.15 มก./ต้น) สำหรับกล้าไม้ยูคาลิปตัส พบว่า การใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ทำให้กล้าไม้มีการเจริญมวลชีวภาพรวมมากที่สุด (861.15 มก./ต้น)

6) การทดสอบการติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ เมื่อหาเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ในกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน พบว่า สำหรับกล้าไม้สนสามใบ ในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อมากที่สุด (9.25 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1, 4, และ 13 ส่วนกล้าไม้ยูคาลิปตัส จะมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อสูงสุดในทริตเมนต์ที่ใส่หัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12 (51 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับทริตเมนต์ที่เพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1

ลักษณะการสร้างรากไมคอร์ไรซาในกล้าไม้สนสามใบ ที่เพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า จะมีลักษณะเป็นรากเดี่ยวที่ไม่แตกแขนง (unbranched) และการแตกแขนงแบบง่าม (dichotomous) ส่วนการสร้างรากไมคอร์ไรซาในกล้าไม้ยูคาลิปตัส ที่เพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า มีลักษณะเป็นแบบรากเดี่ยวที่ไม่แตกแขนง แบบ monopodial pinnate

7) ราเอคโตไมคอร์ไรซา ไม่ได้มีความจำเพาะเจาะจงกับพืชอาศัย แต่รา *P. tinctorius* แต่ละสายพันธุ์ จะมีความแตกต่างกันในระดับของการเข้ากันได้เหมาะสม (compatible) หรือเข้ากันไม่ได้เหมาะสม (incompatible) กับพืชอาศัย

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า การเพาะกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส สามารถใส่เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ให้กับกล้าไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ แต่ควรจะได้มีการวิจัย และพัฒนาในชั้นรายละเอียดเพิ่มเติมต่อไป

- 1) ศึกษาความเข้ากันได้ (compatible) หรือเข้ากันไม่ได้ (incompatible) ของราเอคโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* กับพืชอาศัยชนิดต่าง ๆ
- 2) ศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพสิ่งแวดล้อม (ecological specificity) โดยละเอียด ทั้งปัจจัยสิ่งมีชีวิต และไม่มีชีวิต ที่อาจมีผลต่อการเจริญ หรือการเกิดไมคอร์ไรซากับรากพืช
- 3) การศึกษาการนำไปใช้จริงในทางปฏิบัติ เนื่องจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ไม่อาจจะแสดงผลที่แท้จริงเมื่ออยู่ในสภาพธรรมชาติได้ ดังนั้นการนำกล้าไม้ที่ติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา ไปทดลองปลูกจริงในภาคสนาม จึงเป็นเรื่องที่จำเป็น ที่จะแสดงให้เห็นว่า กล้าไม้ที่ติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา สามารถเจริญได้ดีกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้รับการใส่เชื้อ เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าราเอคโตไมคอร์ไรซาที่ได้ใส่เข้าไปสามารถจะไปแก่งแย่งกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น ตลอดจนราไมคอร์ไรซา ที่มีอยู่ตามธรรมชาติได้ และมีความคุ้มค่า เหมาะสมที่จะนำไปปฏิบัติจริง
- 4) ศึกษาการคัดเลือกสายพันธุ์รา *P. tinctorius* ที่มีการเจริญ และมีการติดเชื้อมากที่สุดได้เปรียบเทียบกับราเอคโตไมคอร์ไรซาชนิดอื่น ๆ เนื่องจากในสภาพธรรมชาติ โดยเฉพาะ ในป่าสนเขา หรือป่าเต็งรัง จะมีความหลากหลายในชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซามากมาย นอกจากนี้การคัดเลือกหาชนิดหรือสายพันธุ์ราเอคโตไมคอร์ไรซา ที่นอกจากจะส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้แล้ว ควรจะพิจารณาประโยชน์ในแง่อื่น ๆ เช่น สามารถเป็นแหล่งอาหาร หรือยารักษาโรค สำหรับประชาชนในพื้นที่ปลูกป่า ซึ่งอาจจะช่วยให้โครงการปลูกป่าประสบผลสำเร็จดังเป้าหมาย เพราะประชาชนจะมีความหวงแหน รู้คุณค่า และช่วยกันดูแลรักษาป่าให้คงอยู่อย่างยั่งยืน ดังนั้นราเอคโตไมคอร์ไรซาจึงอาจจะเป็นยุทธศาสตร์หนึ่งที่จะช่วยทำให้โครงการปลูกป่าฟื้นฟูสภาพแวดล้อมในประเทศไทย ประสบความสำเร็จได้

5) ข้อควรระวังในการศึกษาต่อ ๆ ไป คือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่อาจคิดว่าไม่เป็นปัญหา หรือไม่ก่อปัญหา ก็อาจเกิดขึ้นได้ เช่น ศัตรูพืช จำพวก หนอน แมลง และ มด ควรระวังและป้องกันไว้แต่เนิ่น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ธนิต ยี่งวรรณศิริ และ ประสิทธิ์ สะอาดอาวุธ. 2525. ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส (Eucalyptus camaldulensis Dehnh.). เอกสารเสนอต่อที่ประชุมวิชาการสาขาชีววิทยาป่าไม้ กรมป่าไม้.
- ผการัตน์ รัฐเขตต์. 2523. Mycorrhizae และการเจริญของกล้าสน (Pine seedlings). วารสาร
แก่นเกษตร. 8(5) : 238-243.
- ระพีพรรณ ทิวสระแก้ว. 2536. ป่าสนที่แสนงาม. สารคดี 104 (ตุลาคม 2536) : หน้า153-170.
- วิจัยผลิตผลป่าไม้, กอง. 2530. การใช้ประโยชน์ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูลเลนซิส. กรุงเทพมหานคร : กรมป่าไม้
- สมนึก ผ่องอำไพ. 2534. ปฏิบัติการชีววิทยาป่าไม้ 111. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมบูรณ์ บุญยืน. 2532. ผลของเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา ไฟโซไลธัส ทิงธอเรียส ต่อการเจริญ และการดูดซับธาตุอาหารของกล้าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส และสนคาริเปีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวนวัฒนวิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนิวรรณ เฉลิมพงษ์ และ ธีรวัฒน์ บุญทวีคุณ. 2524. การสำรวจเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา ที่สัมพันธ์กับรากต้นไม้ในระบบนิเวศน์วิทยาป่าเต็งรังท้องที่สระแกราช. กรุงเทพมหานคร : กรมป่าไม้.
- อนิวรรณ เฉลิมพงษ์ และ ธีรวัฒน์ บุญทวีคุณ. 2525. การสำรวจเอคโตไมคอร์ไรซา ในระบบนิเวศน์วิทยาป่าดิบแล้ง. กรุงเทพมหานคร : กรมป่าไม้.
- อนิวรรณ เฉลิมพงษ์. 2525. เห็ดดินแดงไมคอร์ไรซาของไม้สนเขาที่ปลูกในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : กรมป่าไม้.
- อนิวรรณ เฉลิมพงษ์. 2539. เห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่ช่วยในการปลูกป่าภาคอีสาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักวิชาการกรมป่าไม้.

ภาษาอังกฤษ

- Allen, M. F., Sexton, J. C., Moore, Jr. T. S. and Christensen, M. 1981. Influence of phosphate source on vesicular-arbuscular mycorrhizae of *Bouletoua gracilis*. New Phytol. 87: 687-694.
- Arnolds, E. 1988. The changing macromycete flora in Netherlands. Transaction of the British Mycological Society, 90: 391-406.
- Bokor, D. 1959. A mykorrhiza- gombak novekedede es a taplalo kozeg reakcioja kozotti kolesonhatasok vizsgalata. Erdesz. Kuytataso. 6: 389- 394. Cited in Hung, L. L. and Trappe, J. M. 1983. Growth variation between and within species of ectomycorrhizal fungi in response to pH in vitro. Mycologia 75(2): 234-241.
- Bougher, N. L., and Malajczuk, N. 1990. Effect of high soil moisture on formation of ectomycorrhizas and growth of Karri (*Eucalyptus diversicolor*) seedlings inoculated with *Descolea maculata*, *Pisolithus tinctorius*, and *Laccaria laccata*. New Phytol. 114: 87-91.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. and Malajczuk, N. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph 32. Canberra: Pirie.
- Burgess, T., Dell, B., and Malajczuk, N. 1994. Variation in mycorrhizal development and growth stimulation by 20 *Pisolithus* isolates inoculated on to *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. New Phytol. 127: 731-739.-
- Cao, W. and Crawford, D. L. 1993. Carbon nutrition and hydrolytic and cellulolytic activity in the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius* . Can. J. Microbio. 39(5): 529-535.
- Chalermpongse, A. 1992. Biodiversity of Ectomycorrhizal Fungi in the Dipterocarp Forest of Thailand. In Bio – Refor Tsukuba Workshop, pp. 143-145, Tsukuba, Japan.
- Chalermpongse, A. 1993. The Importance of ectomycorrhizae in planting stock production. In A. Mc Nicoll (ed.), ACFTSC Proceedings symposium on Application of soil microorganism in planting stock production, pp. 11-37, Thailand .

- Chalermpongse, A. 1994. The Occurrence and use of ectomycorrhizal fungi in Eucalyptus plantations in Thailand. In M. Brundrett (ed.), Proceedings of an international symposium and workshop on mycorrhizas for plantation forestry in Asia, pp.127-131. Kaiping, Guangdong Province, P.R. China.
- Chilvers, G. A. and Harley J. L. 1980. Visualization of phosphate accumulation in beech mycorrhizal. New Phytol. 4: 319-326.
- Cline, M.L., France, R.C. and Reid, C.P.P. 1987. Intraspecific and interspecific growth variation of ectomycorrhizal fungi at different temperatures. Can.J.Bot. 65 : 869-875.
- Colpaert, J. V. and Assche, J. A. 1992. Zinc toxicity in ectomycorrhizal *Pinus sylvestris*. Plant and soil, 143: 201-211.
- Cumming, J. R. 1993. Growth and nutrition of nonmycorrhizal and mycorrhizal Pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings under phosphorus limitation. Tree Physiol. 13(2): 173-187.
- Cumming, J. R. and Weinstein, L. H. 1990. Utilization of AlPO_4 as a phosphorus source by ectomycorrhizal *Pinus rigida* Mill. Seedlings. New Phytol. 116: 99-106.
- Denny, H. J., Wilkins, D. A. 1987. Zinc tolerance in *Betula spp.* III. Variation in response to zinc among ectomycorrhizal associates. New Phytol. 106: 535-544.
- Duddrige, J. A., Malibari, A. S. and Read, D. J. 1980. Structure and function of mycorrhizal rhizomorph with special reference to their role in water transport. Nature: 287:834-836.
- Durall, D. M., Harniman, S. M. K., Berch, S. M., and Goodman, D. M. 1996. Morphology of ectomycorrhizal system (Dissection Microscope). In D.M. Goodman, D.M. Durall, J.A. Trofymow, and S.M. Berch,(eds.), Concise Descriptions of North American Ectomycorrhizal, pp. CDE1.1- CDE1.4 , Mycologue Publications and Canada – B.C. Forest Resource Development Agreement, Canadian forest service.
- Ek, H., Anderson, S., Arnebrant, K. and Soderstrom, B. 1994. Growth and assimilation of NH_4^+ and NO_3^- by *Paxillus involutus* in association with *Betula pendula* and *Picea abies* as affected by substrate pH. New Phytol. 128: 629-637.

- Entry, J. A. Rygiewicz, P. T., and Emmingham, W. H. 1994. ^{90}Sr uptake by *Pinus ponderosa* and *Pinus radiata* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. Envi. Poll. 86(2): 201-206.
- F.A.O. 1981. Eucalyptus for planting. Rome: Italy.
- F.A.O. 1997. State of the world forest 1997. Rome: Italy.
- Fellner, R. and Peskova, V. 1995. Effect of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationships in temperate forest. Can. J. Bot. 73 (suppl.1): 1310-1315.
- Foster, R. C. 1981. Mycelial strands of *Pinus radiata* D. Don :Ultrastructure and histochemistry. New Phytol. 88: 705-712.
- France, R. C. and Reid, C. P. P. 1982. Interaction of nitrogen and carbon in the physiology of ectomycorrhizae. Can. J. Bot. 61: 964-984.
- France, R. C., Cline, M. L., and Reid, C. P. P. 1979. Recovery of ectomycorrhizal fungi after exposure to subfreezing temperature. Can. J. Bot. 57:1845-1848.
- Gadgil, P. D. 1972. Effect of waterlogging on mycorrhizas of Radiata pine and Douglas fir. New Zealand J. of For. Sci. 2(2): 222-226.
- Giltrap, N. J. and Lewis, D. H. 1981. Inhibition of growth of ectomycorrhizal fungi in culture by phosphate. New Phytol. 87: 669-675.
- Haskaylo, E., Palmer, G., and Vozzo, J. A. 1965. Effect of temperature on growth and respiration of ectotrophic mycorrhizal fungi. Mycologia, 57: 748-756.
- Hardie, K. and Leyton, L. 1981. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. I. In phosphate-deficient soil. New Phytol. 89: 599-608.
- Harley, J. L. 1969. Biology of mycorrhiza. London: Leonard Hill.
- Harley, J. L. and Loughman, B. C. 1963. The uptake of phosphate by excised mycorrhizal roots of beech IX. The nature of phosphate compounds passing to the host. New Phytol. 62: 350-359.
- Harley, J. L. and Smith, S. E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press.
- Ho, I., and Zak, B. 1979. Acid phosphatase activity of six ectomycorrhizal fungi. Can. J. Bot. 57:120-1205.
- Hung, L.L. and Chien, C.Y. 1978. Physiological studies on two ectomycorrhizae fungi, *Pisolithus tinctorius* and *Suillus bovinus*. Trans. Mycol.Soc. Japan. 19:121-127.

- Hung, L. L. and Trappe, J. M. 1983. Growth variation between and within species of ectomycorrhizal fungi in response to pH in vitro. Mycologia 75(2);234-241.
- Hutchison, L. J. 1990. Studies on the systematics of ectomycorrhizal fungi in axenic culture. IV. The effect of some selected fungi toxic compounds upon linear growth. Can. J. Bot. 68: 2172-2178.
- Issaac, S. 1992. Mutualistic Symbiosis, In Chapman and Hall (eds.), Fungal – Plant Interaction, pp. 270-277. Cambridge: University Printing house.
- Jackson, R. M. and Masom, P. A. 1984. Mycorrhiza. Studies in Biology No. 159. London: Edward Arnold.
- Jennifer, L. P., Linderman, R. G., and Black, C. H. 1983. The role of ectomycorrhizas in drought tolerance of Douglas- fir seedlings. New Phytol. 95: 83-95.
- Jones, M. D. and Hutchinson, T. C. 1988. Nickel toxicity in mycorrhizal Birch seedling infected with *Lactarius rufus* or *Scleroderma flavidum* I. Effects on growth, photosynthesis, respiration and transpiration. New Phytol. 108: 451-459.
- Jordan, M. 1995. The Encyclopedia of fungi Britain and Europe. UK : David and Charles.
- Khemnark, C. 1982. Ectomycorrhizal fungi culture and inoculation on *Pinus kesiya*. In Training course on Mycorrhiza Research and Techniques, Serdang, Malaysia.
- Kendrick, B. 1992. The fifth kingdom. Waterloo : Mycologue Publications. Cited in Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, J., and Malajczuk, N. Working with mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR monograph. 32. Canberra: Pirie.1996
- Kumar, D. 1988. Mycorrhizae ; A complete system for nutrient mobilization and cycling. In A. Mahadevan, N. Raman and K. Natarajan (eds.), Mycorrhizae for Green Asian 1st Asian Conference Mycorrhizae, Jan.29-31, pp. 329-332, Madras, India.
- Laiho, O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. Acta Forest. Fenn. 106:1-72.
- Lamp, J. R. and Richards, B. N. 1971. Effect of mycorrhizal fungi on the growth and nutrient status of slash and radiata pine seedlings. Aust. For. 35: 1-7.
- Levisohn, I. 1960. Physiological and ecological factors influencing the effect of mycorrhizal inoculation. New Phytol. 59, 42, อ้างถึงใน จิตรา กาญจนประยูร, การปรับปรุงการเจริญของกล้าสน *Pinus Kesiya* โดยใช้ราเอคโตไมคอร์ไรซาที่แยกจากเห็ดเผาะ

- (*Astraeus hygrometricus*) และเห็ดตับเต่าดำ (*Boletus edulis*) . วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- Lianging, C. and Zhida, P. 1994. Optimising growth conditions for *Pisolithus Tinctorius*
inoculum production. In M. Brundrett, B. Dell and N. Malajczuk (eds.),
Proceedings of an international symposium and workshop on mycorrhizas for
plantation forestry in Asia, pp. 52-56. Kaiping, Guangdong Province, P.R. China.
- Malajczuk, N, Lapeyyrie, F., and Garbaye, J. 1990. Infectivity of pine and eucalyptus
isolates of *Pisolithus tinctorius* on root of Eucalyptus urophylla in vitro, 1.
Mycorrhiza formation in model systems. New Phytol. 114: 627-631.
- Mardisubroto, S. and Warnada, N.M.K. 1982. The Development of ectomycorrhizae on
seedlings of *Pinus merkusii* after fungicides application. In IFS Provision report
no.12, Training Serdang, Malaysia.
- Mark, G.C. and Foster, R.C. 1973. Structure, Morphogenesis and Ultrastructure of
Ectomycorrhizae. In G.C. Mark and T.T. Kozlowski (eds.), Ectomycorrhizae: Their
Ecology and Physiology, pp. 2-41. New York : Academic press.
- Martin, F., Canet, D., Rolin, D., Marchal, J. P. and Lahrer, F. 1983. Phosphorus-31 nuclear
magnetic resonance study of polyphosphate metabolism in intact ectomycorrhizal
fungi. Plant and soil. 71: 469-476.
- Marx, D. H. 1976. Synthesis of ectomycorrhizae - on loblolly pine seedlings with
basidiospores of *Pisolithus tinctorius*. For. Sci. 22:13-20.
- Marx, D. H. 1977. Tree host range and orld distribution of the ectomycorrhizal fungus
Pisolithus tinctorius. Can. J. Microbiol. 23: 217-223.
- Marx, D. H. 1969a. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine
roots to pathogenic infection. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root
pathogenic fungi and soil bacteria. Phytopathol. 59: 153-163.
- Marx, D. H. 1969b. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine
roots to pathogenic infection. II. Identification, production, and biological activity
of antibiotics produced by *Leucopaxillus cerealis* var. piceina. Phytopathol. 59:
411-417.
- Marx, D. H. and Bryan, W. C. 1970. Pure culture synthesis of ectomycorrhizae by
Thelephora terrestris and *Pisolithus tinctorius* on different conifer hosts.
Can. J. Bot. 48: 639-643.

- Marx, D. H. and Bryan, W. C. 1975. Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedling in fumigated soil infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*. For. Sci. 21:245-254.
- Marx, D. H., Bryan, W. C. and Cordell, C. E. 1976. Growth and ectomycorrhizal development of pine seedlings in nursery soil infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*. For. Sci. 22: 91-100.
- Marx, D. H., Bryan, W. C. and Cordell, C. E. 1977. Survival and growth of pine seedlings with *Pisolithus* ectomycorrhizae after two years on reforestation sites in North Carolina and Florida . For. Sci. 23: 363-373.
- Marx, D. H., Bryan, W. C. and C. B. Davey. 1970. Influence of temperature on aseptic synthesis of ectomycorrhizae by *Thelephora terrestris* and *Pisolithus tinctorius* on loblolly pine. For. Sci. 16: 424-431.
- Marx, D. H., Cordell, C. E., Kenny, D. S., Mexal, J. C., Artman, J. D., Riffle, J. W. and Molina, R. J. 1984a. Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on bare- root seedlings. For. Sci. Monogr. 25. 101 p.
- Marx, D. H., Davey, C. B. 1969. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infection. IV. Resistance of aseptically mycorrhizae to infection *Phytophthora cinnamomi*. Phytopathol. 59: 549-558.
- Marx, D. H., Jarl, K., Ruehle, J. L. and Bell, W. 1984b. Development of *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae on pine seedlings using basidiospore-encapsulated seeds. For. Sci. 30: 897-907.
- Marx, D. H. and Kenny, D. S. 1982. Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. In N. C. Schenck (ed.), Method and Principles of Mycorrhizal research, pp. 131-146. St. Paul, Minnesota: The American phytopathological Society publication.
- Marx, D.H., Maaul, S.B. and Cordell, C.E. 1992. Application of specific ectomycorrhizal fungi in world forestry . In G.F. Leafham (ed.), Fronties in industrial mycology, pp. 79-98. USA.: Chapman and Hall .
- Marx, D. H., Morris, W. G. and Mexal J. G. 1978. Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fumigated and nonfumigated soil infested with different fungal symbionts. For. Sci. 24: 193-203.

- Marx, D. H. and Rowan, S. J. 1981. Fungicides influences growth and development of specific ectomycorrhizae on loblolly pine seedlings. For. Sci. 27(1): 167-176.
- Marx, D. H. and Ruehle, J. L. Ectomycorrhizae as biological tools in reclamation and revegetation of waste lands. In A. Mahadevan, N.Raman and K. Natarajan (eds.), Mycorrhizae for green Asia 1st Asian conference on mycorrhizae, Jan. 29-31, pp. 339-344. Maadras, India, 1988.
- Marx, D. H., Ruehle, J. L. and Cordell, C. E. 1991. Method for studying nursery and field response of trees to specific ectomycorrhiza . In J. R. Norris, D. J. Read and A. K. Varma (eds.), Method in Microbiology vol. 23, pp. 383-411. London: Academic press.
- Marx, D. H., Ruehle, J. L., Kenny, D. S., Cordell, C. E., Riffle, J. W., Molina, R. J., Pawuk, W. H., Navratil, S., Tinus, R. W., and Goodwin, O. C. 1982. Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on container grown tree seedlings. For. Sci. 28: 373-400.
- Master, C., Trappe, J.M. and Nussbaum, R.A. 1978. Fungal – small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forest. Ecology 59, 799-809.
- Melin, E. 1962. Physiological aspects of mycorrhizal -of forest trees. In T. T. Kozlowski (ed.), Tree growth, pp. 247-263. New York : Ronald Press.
- Mikola, P. 1973. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. In G. C. Mark and T. T. Kozlowski (eds.), Ectomycorrhizae: Their Ecology and Physiology, pp. 383-411. New York : Academic press.
- Miller, O.K. Jr. 1982. Taxonomy of ecto – and ectendomycorrhizal fungi. In N.C. Schenck (ed.), Method and Principles of Mycorrhizal research, pp.91-101. St. Paul Minnesota : The American Phytopathological Society Publication.
- Molina, R. 1979. Ectomycorrhizal inoculation of containerized Douglas-fir and Lodgepole pine seedlings with six isolates of *Pisolithus tinctorius*. For. Sci. 25(4): 585-590.
- Molina, R. and Palmer, J. G. 1982. Isolation, maintenance and pure culture manipulation of ectomycorrhizal fungi. In N. C. Schenck (ed.), Method and Principles of Mycorrhizal research, pp. 115-29. St. Paul, Minnesota : The American phytopathological Society publication.

- Momoh, Z. O. and Gbadegesin, R. A . 1980. Field performance of *Pisolithus tinctorius* as a mycorrhizal fungus of pine in Nigeria. In P. Mikola (ed.) Tropical Mycorrhiza Research, pp. 73-79. New York : Oxford University Press.
- National academy of science. 1980. Firewood crops, shrub and tree species for energy production. Washington, D. C.
- Nopamornbodi, O. 1995. Effect of mycorrhizae on plant growth and soil fertility. In International Training Course on Soil Management Technique "Fertility Improvement ", March 6- May 31, ADRC and JICAS, ADRC Khonkaen, Thailand.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55(1): 158-161.
- Rice, M. and Beebee, D. 1980. Mushrooms for color. California : Eureka Printing Company.
- Rousseau, J. V. D., Sylvia, D. M., and Fox, A. J. 1994. Contribution of ectomycorrhiza to the potential nutrient – absorbing surface of pine. New Phytol. 128: 639-644.
- Samson, J. and Fortin, J. A. 1986. Ectomycorrhizal fungi of *Larix laricina* and the interspecific and intraspecific variation in response to temperature. Can. J. Bot. 64: 3020-3028.
- Schenck, N. C. and Perez, N. 1987. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. University of Florida, Gainesville, Florida, U.S.A. Cited in Chalermpongse, A. The Important of ectomycorrhizae in planting stock production. In A. Mc Nicoll (ed.), ACFTSC Proceedings symposium on Application of soil microorganism in planting stock production, pp. 11-37, Thailand, 1993.
- Scheromm, P., Plassard, C. and Saldac, L. 1990. Effect of nitrate and ammonium nutrition on the metabolism of the ectomycorrhizal basidiomycete, *Hebeloma cylindrosporum* Romagn. New Phytol. 114:227-234.
- Sinclair, W. A. Sylvia, D. M. and Larsen, A. O. 1982. Disease suppression and growth promotion in Douglas-fir seedlings by the ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata*. For. Sci. 28(2): 191-201.
- Skinner, M. F. and Bowen, G. D. 1974. The uptake and translocation of phosphate by mycelial strands of pine mycorrhizas. Soil Biol. Biochem. 6: 57-81.

- Soderstrom, B. 1993. The ecological potential of the ectomycorrhizal mycelium. In D. J. Read, A. H. Fitter, D. H. Leis and I. J. Alexander (eds.), Mycorrhizas in ecosystem, pp. 77-83. UK : Cab international.
- Tan, K. H., Sihanonth, P. and Todd, R. L. 1978. Formation of humic acid like compound by the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 906-908.
- Thapar, H. S. 1988. Nutritional studies on ectomycorrhizal fungi of Chir pine in culture. In A. Mahadevan, N. Raman and K. Natarajan.(eds.), Mycorrhizae for Green Asia 1st Asian Conference on Mycorrhizae, Jan.29-31, pp179-183, Madras, India.
- Theodorou, C. 1978. Soil moisture and the mycorrhizal association of *Pinus radiata* D. Don. Soil Biol. Biochem. 10: 33-37.
- Theodorou, C. and Bowen, G. D. 1969. The influence of pH and nitrate on mycorrhizal associations of *Pinus radiata* D. Don. Aust. J. Bot. 17: 59-67.
- Torstensson, L. and Wessen, B.1984. Interaction between the fungicide benomyl and soil microorganisms. Soil Biol. Biochem. 16(5): 445-452.
- Trappe, J. M. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. Ann. Rev. Phytopathol. 15 : 203-222.
- Vogt, K.A. and Edmonds, R.L.1980. Pattern of nutrient concentration in basidiocarps in Western Washington. Can. J. Bot. 58 : 694-698.
- Walsh, R. 1996. Seeking the truffle. Natural History 1(January 1996): 20-23.
- Warnock, J.H., Fitter, A.H.and Asher, M.B. 1982. The Influence of a springtail, *Folsomia candida* (insecta Collembola) on the mycorrhizal association of leek, *Allium porrum* and the vesicular – arbuscular endophyte, *Glomus fasciculatus*. New phytol. 90: 283-292.
- White, J. A. and Brown M. F. 1979. Ultrastructure and X-ray analysis of phosphorus grannules in a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Can. J. Bot. 57: 2812-2818.
- Wilde, C. G., Voigt, G. K., and Iyer, J. G. 1964. Soil and plant analysis for tree culture. India : Judhpur, Sudarsham Art Printers.
- Willenborg, A., Schmitz, D., and Lelly, J. 1990. Effect of environment stress factors on ectomycorrhizal fungi in vitro. Can. J. Bot. 68: 1741-1746.

- Williamson, B. and Alexander, I. 1975. Acid phosphatases localized in the sheath of beech mycorrhiza. Soil Biol. Biochem. 7: 195-198.
- Worley, J. F., and Hacskeylo, E. 1959. The effect of available soil moisture on the mycorrhizal association of Virginia pine. For. Sci. 5(3): 267-268.
- Zak, B. 1973. Classification of ectomycorrhizae. In G.C. Marks and T.T. Kozlowski (eds.), Ectomycorrhizal: Their Ecology and Physiology, pp. 43-78. New York : Academic press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์

1. วัสดุเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ ประกอบด้วยแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน ธาตุอาหาร และวิตามิน

เคมีภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต
Agar	-
Ammonium nitrate (NH_4NO_3)	Merck, Germany
Ammonium phosphate ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)	May and Baker, England
Boric acid (H_3BO_3)	Merck, Germany
Calcium chloride (CaCl_2)	May and Baker, England
Copper (II) sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	May and Baker, England
Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	Merck, Germany
Ferric chloride (FeCl_3)	Merck, Germany
Glucose	Merck, Germany
Hydrochloric acid (HCl)	May and Baker, England
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	Methenson Coleman
Magnesium sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	May and Baker, England
Malt Extract	Difco, U.S.A
Manganese chloride ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	May and Baker, England
Potassium chloride (KCl)	Merck, Germany
Potassium Phosphate (KH_2PO_4)	May and Baker, England
Sodium Chloride (NaCl)	Fluka
Sodium hydroxide (NaOH)	Merck, Germany
Sulfuric acid (H_2SO_4)	J.T. Baker chemicals, U.S.A
Thiamine-HCl	May and Baker, England
Zinc sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	May and Baker, England

2. อุปกรณ์ และครุภัณฑ์

ชนิด	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
ขวดทดลอง (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร	Pyrex	Bibby, England
ขวดทดลอง (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร	Pyrex	Bibby, England
ขวดทดลอง (Erlenmeyer flask) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร	Pyrex	Bibby, England
จานเลี้ยงเชื้อ (Petridish)	Pyrex	Bibby, England
หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave)	HA-36	Hirayama manf. Corp. Tokyo, Japan
ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)	G-27	Ne Brunswick Scientific Co. Inc., U.S.A
ตู้ถ่ายเชื้อ (Laminar flow)		หจก. แลป เซอร์วิส
เครื่องชั่งละเอียด	Presica 80-A	Memmert, Germany
เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	Cyberscan 2,000	Eutech Cybernetics, Singapore
เครื่องปั๊ม (Multistatic pump)	2-6200	Buchler Instruments, U.S.A

3. วัสดุอื่น ๆ ได้แก่ เครื่องเจาะจุลทรรศน์ เข็มเย็บเชื้อ กระดาษกรองเบอร์ 1 พาราฟิล์ม กระดาษอะลูมิเนียม สำลี และกล้องถ่ายภาพ

4. วัสดุปลูก ได้แก่ ทราย ขุยมะพร้าว เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) เปลือกถั่ว ถาดเพาะชำแบบหลุมทรงสูง ดินพรุ (Peat moss)

5. เมล็ดพันธุ์ไม้ สนสามใบ จากแหล่งเก็บ หนองกระทิง จ.เชียงใหม่ Seed No. 96-0222 เดือนมกราคม 2539 และยูคาลิปตัส จากแหล่งเก็บ อ.ท่าตูม จ.สุรินทร์ Seed No. 95-0035 เดือนกรกฎาคม-กันยายน 2537

อาหารเลี้ยงเชื้อ และสูตรปุ๋ย

Modified Melin- Norkrans (MMN)

Malt extract	3	กรัม
D-Glucose	10	กรัม
KH_2PO_4	0.5	กรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0.25	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.15	กรัม
CaCl_2	0.05	กรัม
FeCl_3 (1 % solution)	1.2	มิลลิลิตร
NaCl	0.025	กรัม
Thiamine HCl	100	ไมโครกรัม
Distilled water	1	ลิตร

สูตรปุ๋ย

NH_4NO_3	15 กรัม / น้ำ 500 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ N 10.5 ppm
Na_2HPO_4	11.5 กรัม/ น้ำ 250 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ P 10.0ppm
KCl	4.5 กรัม/ น้ำ 250 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ K 9.4 ppm
CaCl_2	7 กรัม/ น้ำ 250 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ Ca 10.1 ppm
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	24 กรัม/ น้ำ 400 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ Mg 40 ppm
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	25 มิลลิกรัม/ น้ำ 100 มิลลิลิตร ทำ dilution 10^{-2} ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ Mo 0.001 ppm
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	15 มิลลิกรัม/ น้ำ 100 มิลลิลิตร ทำ dilution 10^{-1} ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ Cu 0.006 ppm
H_3BO_3	64 มิลลิกรัม/ น้ำ 100 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	44 มิลลิกรัม/ น้ำ 100 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ ธาตุ Zn 0.1 ppm

$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.25 กรัม/ น้ำ 100 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ Mn 0.7 ppm
FeEDTA	18.1 กรัม/ น้ำ 500 มิลลิลิตร ใช้ 1 มิลลิลิตร/ลิตร ได้ธาตุ Fe 5.5 ppm

ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง ผังการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD)

สมมติว่า มีหน่วยทดลองที่สม่ำเสมอ 16 หน่วย และมีทรีตเมนต์ 4 ทรีตเมนต์ (A, B, C D) ผู้ทดลองอาจกำหนดให้มีจำนวนซ้ำเท่ากันในแต่ละทรีตเมนต์ (equal replications) หรือมีจำนวนซ้ำที่ไม่เท่ากัน (unequal replications) ก็ได้ ดังนั้น ถ้ากำหนดให้มีจำนวนซ้ำเท่ากัน คือ 4 ซ้ำ ต่อ 1 ทรีตเมนต์ ภายหลังการสุ่มอาจได้ผังการทดลอง ดังต่อไปนี้

A	C	B	D
B	C	B	A
B	A	D	C
C	D	D	A

ตัวอย่าง ผังการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD)

การวางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) มี 4 บล็อก แต่ละบล็อกมี 8 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 24 ต้น ดังนั้น ในหนึ่งภาคเพาะชำจะประกอบด้วยกล้าไม้สนสามใบ และยูคาลิปตัส ชนิดละ 12 ต้น ทรีตเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยทรีตเมนต์ต่าง ๆ ดังนี้

ทรีตเมนต์ A ใส่รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 1

ทรีตเมนต์ B ใส่รา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 1

ทรีตเมนต์ C ใส่รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 4

ทรีตเมนต์ D ใส่รา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 4

ทรีตเมนต์ E ใส่รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 12

ทรีตเมนต์ F ใส่รา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 12

ทรีตเมนต์ G ใส่รา *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่ 13

ทรีตเมนต์ H ใส่รา *P. tinctorius* ซึ่งผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อสายพันธุ์ที่ 13

เมื่อสุ่มทรีตเมนต์ลงในบล็อก อาจได้ผังการทดลอง ดังนี้

บล็อกที่ 1

C	G	A	E	F	D	B	H
---	---	---	---	---	---	---	---

บล็อกที่ 2

A	B	C	E	H	G	D	F
---	---	---	---	---	---	---	---

บล็อกที่ 3

F	D	E	A	H	C	B	G
---	---	---	---	---	---	---	---

บล็อกที่ 4

A	B	H	G	F	D	E	C
---	---	---	---	---	---	---	---

ตารางผนวกที่ 1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอัตราส่วนเวอร์มิคิวไลต์ต่อดินพรุ ที่ใช้เป็นวัสดุทำ
Inoculum

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (กรัม)	pH
เวอร์มิคิวไลต์ : ดินพรุ	
8 : 1	4.99
21 : 1	5.99
เวอร์มิคิวไลต์	6.89

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ภายในเรือนเพาะชำ ตั้งแต่เดือน
พฤษภาคม- พฤศจิกายน 2541 เวลา 08.00-16.00 น.

เดือน	อุณหภูมิ (°C)		ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (%)
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
พฤษภาคม	26	36	31.2	53
มิถุนายน	26	36	32.3	53
กรกฎาคม	25	36	31.6	53
สิงหาคม	25	37	30.6	52
กันยายน	24	35	30.4	53
ตุลาคม	27	35	30.5	54
พฤศจิกายน	23	35	29.8	53

ตารางผนวกที่ 3 ความชื้น และ pH ในดินปลูกสนสามใบ และยูคาลิปตัส ของแต่ละทรีตเมนต์การทดลอง เมื่ออายุ 6 เดือน

ทรีตเมนต์	ความชื้น (% โดยน้ำหนัก)		pH	
	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส	สนสามใบ	ยูคาลิปตัส
สายพันธุ์ที่ 1	29.83	15.58	5.54	5.88
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 1	36.78	25.32	5.80	6.26
สายพันธุ์ที่ 4	28.02	8.45	5.62	6.09
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 4	21.24	29.68	5.85	6.40
สายพันธุ์ที่ 12	34.73	14.66	5.45	5.90
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 12	29.73	13.96	6.01	6.20
สายพันธุ์ที่ 1	33.13	5.97	5.65	6.08
ชุดควบคุมสายพันธุ์ที่ 13	18.27	18.26	6.01	6.26

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
Isolate	13	65,749.041	5,057.619	76.704*
Temperature	2	138,150.003	69,075.002	1,047.592*
Isolate vs Temperature	26	39,880.825	1,533.878	23.263*
Error	126	8,308.055	65.937	
Total	167	252,087.925	1,509.509	

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเป็นกรด-ด่างการเจริญของราเอกโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* สายพันธุ์ต่าง ๆ

SOV	df	SS	MS	F
สายพันธุ์ที่ 1				
Between groups	4	50,841.02	12,710.25	871.212 [*]
Within groups	15	218.837	14.589	
Total	19	51,059.86		
สายพันธุ์ที่ 2				
Between groups	4	17,715.80	4,428.950	60.744 [*]
Within groups	14	1,020.772	72.912	
Total	18	18,736.57		
สายพันธุ์ที่ 3				
Between groups	4	39,125.67	9,781.418	91.707 [*]
Within groups	15	1,599.885	106.659	
Total	19	40,725.56		
สายพันธุ์ที่ 4				
Between groups	4	52,254.72	13,063.68	224.748 [*]
Within groups	15	871.890	58.126	
Total	19	53,126.61		
สายพันธุ์ที่ 5				
Between groups	4	38,113.89	9,528.473	980.986 [*]
Within groups	14	135.984	9.713	
Total	18	38,249.88		
สายพันธุ์ที่ 6				
Between groups	4	14,196.33	3,549.082	162.613 [*]
Within groups	15	327.380	21.825	
Total	19	14,523.71		
สายพันธุ์ที่ 7				
Between groups	4	16,566.36	4,141.591	59.648 [*]
Within groups	15	1,041.513	69.434	
Total	19	17,607.88		

ตารางที่ 5 (ต่อ)

SOV	df	SS	MS	F
สายพันธุ์ที่ 8				
Between groups	4	4,404.320	1,101.080	120.918*
Within groups	15	136.590	9.106	
Total	19	4,540.910		
สายพันธุ์ที่ 9				
Between groups	4	9,463.123	2,365.781	50.042*
Within groups	14	136.590	47.276	
Total	18	10,124.99		
สายพันธุ์ที่ 10				
Between groups	4	9,657.603	2,414.401	55.659*
Within groups	15	650.673	43.378	
Total	19	10,308.28		
สายพันธุ์ที่ 11				
Between groups	4	10,778.46	2,694.615	34.470*
Within groups	14	1,094.409	78.172	
Total	18	11,872.87		
สายพันธุ์ที่ 12				
Between groups	4	18,838.45	4,709.612	80.728*
Within groups	15	875.088	58.339	
Total	19	19,713.54		
สายพันธุ์ที่ 13				
Between groups	4	11,735.83	2,933.959	6.865*
Within groups	13	5,556.262	427.405	
Total	17	17,292.10		
สายพันธุ์ที่ 14				
Between groups	4	24,857.46	6,214.364	232.849*
Within groups	15	400.325	26.688	
Total	19	25,257.78		

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	10.5332	3.5111	1.9755 ^{ns}
Treatment	7	22.6777	3.2397	1.8228 ^{ns}
Error	21	37.3232	1.7773	
Total	31	70.5342		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญทางความสูงของลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	2.4277	0.8092	0.2566 ^{ns}
Treatment	7	131.2852	18.7550	5.9474 [*]
Error	21	66.2227	3.1535	
Total	31	199.9355		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	0.0707	0.0236	1.3299 ^{ns}
Treatment	7	0.3143	0.0449	2.5345 [*]
Error	21	0.3721	0.0177	
Total	31	0.7570		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญทางเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	0.0047	0.0016	0.1016 ^{ns}
Treatment	7	1.3598	0.1943	12.6389 [*]
Error	21	0.3228	0.0154	
Total	31	1.6873		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราส่วนระหว่างความสูงลำต้นต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น กล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	79.7813	26.5938	0.3678 ^{ns}
Treatment	7	304.6875	43.5268	0.6021 ^{ns}
Error	21	1,518.25	72.2976	
Total	31	1,902.7188		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราส่วนระหว่างความสูงลำต้นต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น กล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	114.8125	38.2708	0.7825 ^{ns}
Treatment	7	2,011.6875	287.3839	5.8757 [*]
Error	21	1,027.125	48.9107	
Total	31	3,153.625		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	356.00	118.6667	0.1819 ^{ns}
Treatment	7	26,011.50	3,715.9285	5.6965 [*]
Error	21	13,698.75	652.3214	
Total	31	40,066.25		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	8,712.5	2,904.1667	2.1059 ^{ns}
Treatment	7	61,459.0	8,779.8574	6.3665 [*]
Error	21	28,960.5	1,379.0714	
Total	31	99,132		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดินของสนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหั่วเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	3,648.6250	1,216.2084	1.6146 ^{ns}
Treatment	7	27,938.125	3,991.1606	5.2986 [*]
Error	21	15,818.25	753.25	
Total	31	47,405		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	930.0	310.0	0.3229 ^{ns}
Treatment	7	81,969.0	11,709.8574	12.1969 [*]
Error	21	20,161.5	960.0714	
Total	31	103,060.5		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	0.0886	0.0295	0.9742 ^{ns}
Treatment	7	0.0793	0.0113	0.3736 ^{ns}
Error	21	0.6367	0.0303	
Total	31	0.8046		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	0.0027	0.0009	0.0250 ^{ns}
Treatment	7	1.8336	0.2619	7.3226 [*]
Error	21	0.7512	0.0358	
Total	31	2.5874		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพรวมของกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	4,865.5	1,621.8334	0.7350 ^{ns}
Treatment	7	98,330.5	14,047.2139	6.3663 [*]
Error	21	46,336.5	2,206.5	
Total	31	149,532.5		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการเจริญมวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	14,839	4,946.3335	1.2171 ^{ns}
Treatment	7	276,764	39,537.7148	9.7285 [*]
Error	21	85,346	4,064.0952	
Total	31	376,949		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *P. tinctorius* ในกล้าไม้สนสามใบ อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	34.8438	11.6146	1.6660 ^{ns}
Treatment	7	549.4688	78.4955	11.2591 [*]
Error	21	146.4063	6.9717	
Total	31	730.7188		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

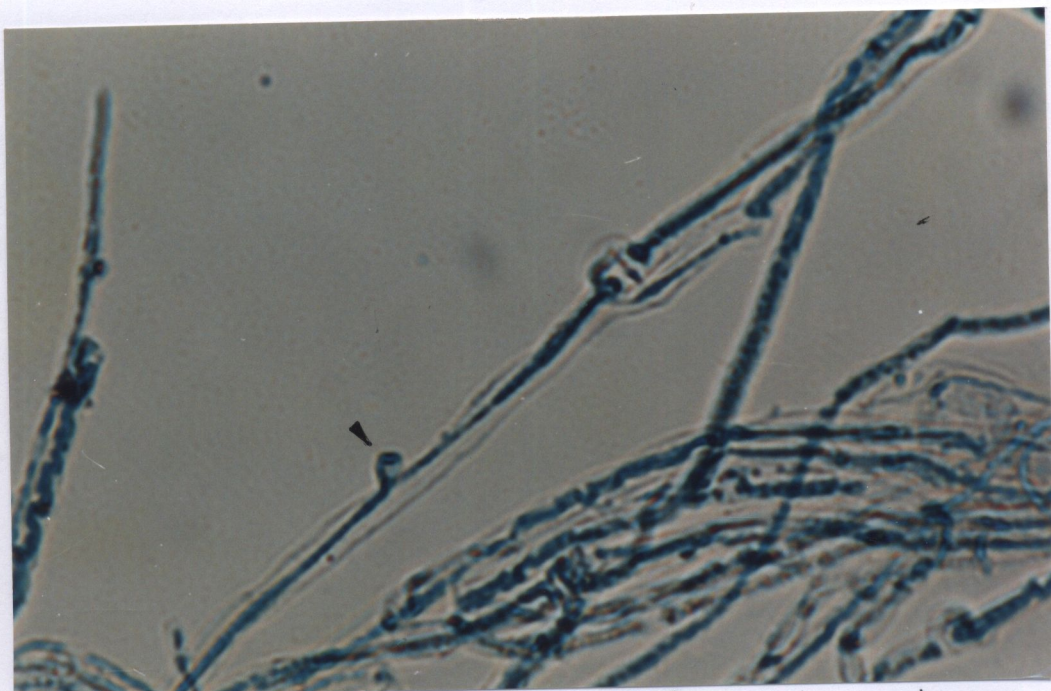
ตารางผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *P. tinctorius* ในกล้าไม้
ยูคาลิปตัส อายุ 6 เดือน เมื่อเพาะหัวเชื้อเส้นใย *P. tinctorius* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้

SOV	df	SS	MS	F
Block	3	329.375	109.7917	0.6786 ^{ns}
Treatment	7	12,777.875	1,825.4108	11.2825 [*]
Error	21	3,397.6250	161.7917	
Total	31	16,504.8750		

ns = non significant, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ค



ภาพผนวกที่ 1. ลักษณะเส้นใย และ Clamp connection (ลูกศรชี้) ของรา *P. tinctorius* ที่ย้อมติดสี Lactophenol cotton blue เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 1657 เท่า



ภาพผนวกที่ 2. ลักษณะของเส้นใยรา *P. tinctorius* ที่เจริญในวัสดุทำหัวเชื้อเวอร์มิคิวไลต์ และดินพรวบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3- 4 เดือน เมื่อ A คือ สายพันธุ์ที่ 12, B คือ สายพันธุ์ที่ 1, C คือ สายพันธุ์ที่ 4, D คือ สายพันธุ์ที่ 13

ประวัติผู้เขียน

นาย เชิดชัย โพธิ์ศรี เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดยโสธร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาทรัพยากรป่าไม้ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2538 และเข้าศึกษาที่ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2538