# วิทยานิพนธ์

**การเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don) ที่อยู่ร่วมกับเห็ดเผาะหนัง ( *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) แบบเอคโตไมคอร์ไรซา**

**GROWTH AND WATER USE OF *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don SEEDLINGS ASSOCIATED WITH *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley AS ECTOMYCORRHIZA**

**นางสาวธารรัตน์ แก้วกระจ่าง**

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

**พ.ศ. 2551**

# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

**ปริญญา**

| ชีววิทยาป่าไม้ | ชีววิทยาป่าไม้ |
|---|---|
| **สาขา** | **ภาควิชา** |

**เรื่อง** การเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don) ที่อยู่ร่วมกับเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) แบบเอคโตไมคอร์ไรซา

Growth and Water Use of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings Associated with *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley as Ectomycorrhiza

**นามผู้วิจัย** นางสาวธารรัตน์ แก้วกระจ่าง

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก** .....
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุทัยวรรณ แสงวณิช, Ph.D. )

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** .....
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลดาวัลย์ พวงจิตร, D.Sc. )

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** .....
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัติยา พงศ์พิสุทธา, Ph.D. )

**หัวหน้าภาควิชา** .....
( รองศาสตราจารย์นริศ ภูมิภาคพันธ์, วท.ด. )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

.....
( รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A. )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** 2 **เดือน** เมษายน **พ.ศ.** 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

# การเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don) ที่อยู่ร่วมกับเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) แบบเอคโตไมคอร์ไรซา

# Growth and Water Use of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings Associated with *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley as Ectomycorrhiza

โดย

นางสาวธารรัตน์ แก้วกระจ่าง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)
พ.ศ. 2551

ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง 2551: การเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don) ที่อยู่ร่วมกับเห็ดเผาะหนัง ( *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) แบบเอคโตไมคอร์ไรซา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาชีววิทยาป่าไม้ ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อุทัยวรรณ แสงวณิช, Ph.D. 60 หน้า

การศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบการเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา ที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง ดังต่อไปนี้คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มล./ต้น เส้นใยบริสุทธิ์ 25 มล./ต้น และไม่ปลูกเชื้อ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ทำการวัดการเติบโตที่เพิ่มขึ้นด้านต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's new multiple range test ($P<0.05$) ส่วนการศึกษาการใช้น้ำ ได้วัดค่าการคายน้ำและค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ให้น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ลดการให้น้ำ นำค่าที่ได้ของกล้าไม้กลุ่มที่ให้น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (repeated measures) และนำค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้กลุ่มที่ลดการให้น้ำ ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's new multiple range test ($P<0.05$)

ผลการศึกษาพบว่า กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีรากเอคโตไมคอร์ไรซาเกิดขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดราก 58-68 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อมีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก และน้ำหนักแห้งส่วนราก มากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเติบโตที่เพิ่มขึ้นด้านอื่น ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิธีการปลูกเชื้อเพิ่มการเติบโตให้แก่กล้าไม้ไม่แตกต่างกัน จึงสามารถเลือกใช้วิธีใดก็ได้ สำหรับการปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ ควรใช้ 25 มล./ต้น เพราะทำให้กล้าไม้มีการเติบโตเพิ่มขึ้นทางด้านต่าง ๆ ส่วนใหญ่ มากที่สุด ผลของการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา 5 ทรีทเมนต์ ทั้งกลุ่มที่ให้น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ลดการให้น้ำ พบว่ามีปริมาณการใช้น้ำและค่าชักนำการเปิดปากใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อค่อนข้างสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ

ควรนำผลการศึกษานี้ ไปแนะนำให้มีการผลิตกล้าไม้ยางนาที่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซา เพื่อใช้สำหรับปลูกสร้างสวนป่ายางนาที่มีการเติบโตดี และมีเห็ดเผาะหนังเกิดขึ้นบนพื้นสวนป่าด้วย

ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง — 28 / 03 / 2551

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Tharnrat Kaewgrajang 2008: Growth and Water Use of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings Associated with *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley as Ectomycorrhiza. Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Biology, Department of Forest Biology. Thesis Advisor: Assistant Professor Uthaiwan Sangwanit, Ph.D. 60 pages.

This study compared growth and water use of *D. alatus* seedlings inoculated and non-inoculated with *A. odoratus* as follows; inoculated with spore suspension at 10, 25 and 50 ml/seedling, pure mycelium 25 ml/seedling and non-inoculated controls. The experimental design was a Completely Randomized Design. Various growth increments of the seedlings were measured. The effects of treatments were assessed by an analysis of variance and treatment means were compared by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$). For the water use study, measurement of transpiration rates and stomatal conductance of the seedlings were carried out. The seedlings were divided into 2 groups; 100% watered seedlings and less watered seedlings. The data gained from 100% watered seedlings were assessed for the effects of treatments by a repeated measures design and the treatment means were compared by Duncan's new multiple range test. The data gained from less watered seedlings were analyzed for similar results by using an analysis of variance and Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

Results of the experiment revealed that the seedlings inoculated with *A. odoratus* formed distinctive ectomycorrhizal roots at 58-68 percents of total roots. The inoculated seedlings had significantly higher height, diameter at root collar and root dry weight than those of the non-inoculated ones. There was no significant difference in other growth parameters. The 2 inoculation techniques had no significant effects on the seedling growth increments, therefore either technique can be used. However, inoculation with spore suspension at 25 ml/seedling was recommended as it supported the majority of growth increments. Five treatments of *D. alatus* seedlings in the 100% watered group and the less watered group showed no statistical differences in water use and stomatal conductance. However, the stomatal conductance of the inoculated seedlings trended to be higher than the non-inoculated ones.

Results of this study should be recommended for the production of *D. alatus*+*A. odoratus* ectomycorrhizal seedlings. Good growing *D. alatus* plantations will be established with the occurrence of *A. odoratus* mushrooms on the plantation floors.

Tharnrat Kaewgrajang — Student's signature

Uthaiwan Sangwanit — Thesis Advisor's signature

28 / 03 / 2008

# กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุทัยวรรณ แสงวณิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งช่วยให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลดาวัลย์ พวงจิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัติยา พงศ์พิสุทธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ รองศาสตราจารย์อนันตชัย เชื่อนธรรม ที่กรุณาให้คำปรึกษาในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดร. ประเสริฐ สอนสถาพรกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ เอียดทอง ประธานในการสอบที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจากโครงการ Thailand Asian-Korea Environmental Cooperative Project (Thailand-AKECOP) ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑล จำเริญพฤกษ์ ผู้อำนวยการโครงการฯ ไว้ ณ ที่นี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณกุศล ตั้งใจพิทักษ์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือทุก ๆ ด้านในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ คุณจันจิรา อายะวงศ์ คุณบารมี สกลรักษ์ คุณโสมนัสสา แสงฤทธิ์ คุณศศิธร หาสิน คุณพงศธร พวงสมบัติ คุณอาจารี สิขัณฑกสมิต พี่ เพื่อนและน้องอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุนและส่งเสริมการศึกษาของข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณน้องสาว และคุณสนธยา นิมิตโชคอวยชัย สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง

มีนาคม 2551

# สารบัญ

**หน้า**


| | |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (3) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 3 |
| การตรวจเอกสาร | 4 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 18 |
| ผลและวิจารณ์ | 25 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 50 |
| สรุป | 50 |
| ข้อเสนอแนะ | 51 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 53 |
| ประวัติการศึกษา และการทำงาน | 60 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ข้อดีและข้อเสียของวิธีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาให้แก่กล้าไม้ | 11 |
| 2 | เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา การเติบโตที่เพิ่มขึ้นด้านต่าง ๆ และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือนที่ปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการแตกต่างกัน 5 ทรีทเมนต์ | 31 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ลักษณะทางสัณฐานของรากกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน (a) ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา (b) มีเอคโตไมคอร์ไรซา ลักษณะทางกายวิภาคของรากกล้าไม้ (c) ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา (d) มีเอคโตไมคอร์ไรซา (C=cortex; E=epidermis; En=endodermis; H=Hartig net; M=mantle sheath; R=rhizomorph; S=sclerotium) | 26 |
| 2 | (a) และ (b) คือดอกเห็ดเผาะหนังที่เกิดบริเวณโคนต้นกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อ Ex คือผนังชั้นนอกของ ดอกเห็ด (exoperidium) (c) คือเนื้อเยื่อชั้นในของ exoperidium และ (d) คือสปอร์ของเห็ดเผาะหนังภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Scanning Electron Microscope | 27 |
| 3 | การเจริญของเส้นใยเห็ดเผาะหนัง S คือเส้นใยจากเม็ด sclerotium และ F คือเส้นใยจากดอกเห็ด | 28 |
| 4 | เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ | 30 |
| 5 | ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 33 |
| 6 | สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับความสูง (H) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 34 |
| 7 | น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 35 |
| 8 | สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนรากกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับความสูง (H) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 35 |
| 9 | อัตราส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 37 |
| 10 | สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวรากกับน้ำหนักแห้งส่วนรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 39 |
| 11 | พื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน | 39 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 12 | ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 17 วัน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในวันเดียวกัน | 42 |
| 13 | ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำในระดับต่าง ๆ | 43 |
| 14 | ค่าชักนำการเปิดปากใบในรอบวันของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำ100 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในวันเดียวกัน | 45 |
| 15 | ค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ | 46 |
| 16 | ค่าชักนำการเปิดปากใบช่วงเช้า (10.00-11.00 น.) และช่วงบ่าย (13.00-14.00 น.) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำในระดับต่าง ๆ | 49 |

# การเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don) ที่อยู่ร่วมกับเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) แบบเอคโตไมคอร์ไรซา

# Growth and Water Use of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings Associated with *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley as Ectomycorrhiza

## คำนำ

ยางนาเป็นไม้ต้นขนาดใหญ่และลำต้นเปลาตรงและถูกจัดเป็นไม้ที่มีเนื้อไม้ให้คุณค่าทางเศรษฐกิจสูงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเนื้อไม้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างต่าง ๆ ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ทำไม้อัด (plywood) และแผ่นใยไม้อัด (fiber board) ได้ดี นอกจากนี้ยางนายังให้น้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันยาง ซึ่งมีคุณค่ายิ่งอีกด้วย ผลจากการที่ป่าไม้ถูกทำลายและพื้นที่บางส่วนถูกแผ้วถางเพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้ยางนาในธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลง ดังนั้นจึงมีการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่ายางนาทั้งโดยภาครัฐและภาคเอกชนเพื่อทดแทนป่าที่ถูกทำลายไป แต่การปลูกสร้างสวนป่าไม้ยางนามักประสบปัญหาเพราะเมื่อนำกล้าไม้ยางนาไปปลูก กล้าไม้จะมีอัตราการเติบโตช้าและการรอดตายต่ำ เพราะพื้นที่ปลูกป่าส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่เสื่อมโทรม และแห้งแล้ง เพื่อให้การปลูกสร้างสวนป่ายางนาประสบความสำเร็จจึงควรที่จะปรับปรุงคุณภาพของกล้าไม้ให้มีอัตราการเติบโตเร็วและสามารถทนแล้งได้ดี

จากการรวบรวมงานวิจัยด้านเอคโตไมคอร์ไรซา พบว่าพืชที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากจะมีอัตราการเติบโตและสามารถทนแล้งได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา ยางนาเป็นไม้ชนิดหนึ่งที่มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างเด่นชัด ราเอคโตไมคอร์ไรซาของยางนานั้นมีหลายชนิดและเป็นราที่สามารถสร้างดอกเห็ดขึ้นมาเจริญอยู่บนพื้นป่า เห็ดเหล่านี้มีทั้งที่รับประทานได้และไม่ได้ หนึ่งในชนิดเห็ดที่รับประทานได้และเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาของยางนา คือ เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) ซึ่งเป็นเห็ดที่คนนิยมบริโภคมากเนื่องจากมีรสชาติอร่อยจึงทำให้ที่มีราคาแพง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงต้องการที่จะปลูกเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้ยางนา เพื่อเพิ่มคุณภาพกล้าไม้ให้มีอัตราการเจริญที่เร็ว

และมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงในสภาวะขาดน้ำ ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปปลูกในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมและในสวนป่า นอกจากนี้อาจจะมีเห็ดเผาะหนังเกิดขึ้นบนพื้นอีกด้วย ชาวบ้านจะสามารถเก็บไปรับประทานและจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้อันจะทำให้เศรษฐกิจของชุมชนดีขึ้น และยังช่วยให้คนในชุมชนตระหนักและเห็นคุณค่าของทรัพยากรป่าไม้อีกทางหนึ่งด้วย

# วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการเติบโตของกล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโต-ไมคอร์ไรซา

2. เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการปลูกเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้ยางนา

3. เพื่อศึกษาการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซา

# การตรวจเอกสาร

## ยางนา

ชื่อพฤกษศาสตร์ของยางนา คือ *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don จัดอยู่ในวงศ์ (family) Dipterocarpaceae มีชื่อพื้นเมืองได้แก่ ยางนา ยางขาว ยางแดง ยางหยวก ยางแม่น้ำ กา ตีล ชันนา จ้อง เคาะ เป็นต้น ชอบขึ้นเป็นกลุ่มบนที่ราบลุ่มตามริมฝั่งแม่น้ำซึ่งมีดินตะกอนสะสม ยางนามีเขตการกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวางตั้งแต่ประเทศบังคลาเทศ พม่า อินเดีย ไทย ลาว กัมพูชาและเวียดนาม (ธวัชชัย, 2542)

ยางนาเป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ สีเทาปนขาว โคนต้นมักเป็นพูพอน เรือนยอดเป็นพุ่มกลม เนื้อไม้สีน้ำตาลแดง ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปไข่แกมรูปหอก (lanceolate ovate) ปลายใบแหลม ฐานใบมนกว้าง ใบอ่อนมีขนสีเทาประปราย ใบแก่เกลี้ยง ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ดอกสีขาวอมชมพูออกเป็นช่อสั้น ๆ แบบช่อแยกแขนง (panicle) เกิดตามง่ามใบ ตอนปลายกิ่ง ดอกแต่ละดอกมีชั้นของกลีบเลี้ยง (sepal) จำนวน 5 กลีบ สีน้ำตาลอ่อน โคนกลีบเชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วย และมีครีบตามยาว 5 ครีบ ปลายครีบแยกเป็น 5 แฉก ยาว 2 แฉกและสั้น 3 แฉก มีกลีบดอก (petal) 5 กลีบ โคนกลีบเรียงซ้อนทับกัน ปลายกลีบบิดเวียนตามกันเป็นรูปกังหัน ผลเดี่ยว (simple fruit) เมื่อแก่จะแห้งและไม่แตก (indehiscent) เป็นผลผิวแห้งที่เปลือกจะติดแน่นอยู่กับเมล็ด ตัวผลกลมหรือรูปไข่ มีครีบตามยาว 5 ครีบ ซึ่งเจริญมาจากส่วนของกลีบเลี้ยง ด้านบนมีปีกยาว 2 ปีก ปีกสั้น 3 ปีก ยางนาออกดอกระหว่างเดือนมีนาคม ถึงพฤษภาคม ผลแก่ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงมิถุนายน (ธวัชชัย, 2542; ไซมอน, 2543)

เนื้อไม้สามารถนำมาใช้ก่อสร้างบ้านเรือนได้ดี เช่น ใช้ทำไม้ฝา โครงหลังคา ไม้พื้น เพดาน ไม้ระแนง และใช้ทำเครื่องเรือนต่าง ๆ (บุญชุบ, 2542) ปัจจุบันการใช้ประโยชน์เนื้อไม้ที่สำคัญคือ การนำไปทำไม้อัด (plywood) และแผ่นใยไม้อัด (fiber board) (สมศักดิ์, 2530) นอกจากนี้น้ำมันยางยังนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใช้ทาไม้ ผสมชันอื่น ๆ ยาแนวเรือและยาภาชนะ ทำไต้จุดไฟส่องสว่าง ทำน้ำมันชักเงา น้ำมันเชื้อเพลิง หมึกพิมพ์ และสีทาบ้าน เป็นต้น (บุญชุบ, 2542) เป็นไปได้ว่าน้ำมันจากต้นยางนาจะสามารถใช้สำหรับการเผาให้ความร้อนเพื่อทดแทนน้ำมันเตาได้ในอนาคต (ประถม และ สุดาพร, 2542)

## คำจำกัดความและชนิดของไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) มาจากภาษากรีกสองคำคือ Mycor แปลว่า รา และ Rhiza แปลว่า ราก ใช้เรียกการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiotic associations) ของรากับรากพืชที่มีชีวิต โดยรานั้นต้องไม่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่อรากพืช ราที่อยู่อาศัยร่วมกับรากพืชจะได้รับสารประกอบคาร์บอนและสารอื่น ๆ จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ส่วนพืชได้รับประโยชน์คือ ราช่วยเพิ่มการดูดซับน้ำและธาตุอาหารให้กับพืชและเพิ่มความสามารถในการทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเติบโต อันได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่างที่ไม่เหมาะสมของดิน ความแห้งแล้ง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม เป็นต้น นอกจากนี้รายังช่วยป้องกันรากพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคด้วย (Marx and Barnett, 1974)

ไมคอร์ไรซาแบ่งออกเป็น 7 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ เอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhiza) อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา (arbuscular mycorrhiza) เอคเทนโดไมคอร์ไรซา (ectendomycorrhiza) อีรีคอยด์ไมคอร์ไรซา (ericoid mycorrhiza) โมโนโทรพอยด์ ไมคอร์ไรซา (monotropoid mycorrhiza) อาร์บูทอยด์ ไมคอร์ไรซา (arbutoid mycorrhiza) และ ออร์คิด ไมคอร์ไรซา (orchid mycorrhizas) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Harley and Smith, 1983; Brundrett, 1996; Peterson *et al.*, 2004)

### 1. เอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhiza)

เอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhiza) อาจถูกเรียกในชื่อ ectotrophic association หรือ sheathing mycorrhiza ราเอคโตไมคอร์ไรซาสร้างเส้นใยสานกันห่อหุ้มบริเวณผิวของรากแขนง มีลักษณะเป็นแผ่นเรียกว่า แผ่นแมนเทิล (mantle sheath) เส้นใยจะแทงผ่านชั้นเซลล์ผิว (epidermis) ของรากเข้าไปเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ในชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแห เรียกว่า เส้นใยฮาร์ติกเน็ท (Hartig net) แต่ไม่พบเส้นใยดังกล่าวเจริญเข้าไปในชั้นของเอนโดเดอร์มิส (endodermis) และบริเวณชั้นท่อลำเลียงน้ำ แผ่นแมนเทิลทำหน้าที่เคลื่อนย้ายน้ำและธาตุอาหารจากดินสู่รากพืช ดูดซับและสะสมสารประกอบ ได้แก่ กลูโคส (glucose) ฟรุคโตส (fructose) ทรีฮาโรส (trehalose) แมนนิโทส (mannitose) ลิปิด (lipid) โปรตีน (protein) ฟีนอลลิก (phenolic) และสารกลุ่มโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) เป็นต้น (Zak, 1973)

รากเอคโตไมคอร์ไรซามีการเปลี่ยนแปลงจากรากปกติ คือ มีการแตกแขนงเพิ่มขึ้น และมีขนาดของรากใหญ่ขึ้น เป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากในการดูดซึมธาตุอาหารและน้ำให้แก่ต้นไม้ (อุทัยวรรณ, 2537; Marks and Foster, 1973) จากการศึกษาของ Nardini *et al*. (2000) พบว่า *Tuber melanosporum* ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากของกล้า *Quercus ilex* L.ทำให้กล้าไม้สามารถดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wallander (2000) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสของกล้าสน *Pinus sylvestris* พบว่ากล้าสนที่ปลูกด้วยราเอคโตไมคอร์ไรซา *Suillus variegates* มีการดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสมากกว่ากล้าสนที่ไม่ได้ปลูกรา เนื่องจากราช่วยย่อยสลาย apatite ให้เป็นธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปซึ่งพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการปล่อยกรด oxalic ออกมา บริเวณรอบๆ ราก นอกจากนี้ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus tinctorius* ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในส่วนของใบ ลำต้น และรากของกล้าไม้สนสามใบและสนคาริเบีย ที่สำคัญได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุแมกนีเซียมและธาตุแคลเซียม (ธีรวัฒน์, 2533) ด้านการป้องกันรากพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคนั้น มีตัวอย่างการศึกษาของ Duchesne *et al.* (1988) ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อปลูกราเอคโตไมคอร์ไรซา *Paxillus involutus* ให้กับกล้าสน *Pinus resinosa* สามารถเพิ่มความต้านทานต่อการเข้าทำลายของ *Fusarium oxysporum* f. sp. *pini* ได้มากกว่า 90 เปอร์เซนต์เนื่องจากเชื้อรา *P. involutus* ผลิต antibiotic บริเวณรอบรากทำให้ยับยั้งการงอกของสปอร์ได้ ราเอคโต-ไมคอร์ไรซาสามารถควบคุมไส้เดือนฝอยได้ ซึ่ง Duponnois *et al.* (2000) ได้ทดลองใช้ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus* spp. ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne javanica* ใน *Acacia holosericea* และพบว่าหลังจากปลูกเส้นใยบริสุทธิ์ของราเอคโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus* spp. ให้กับต้นกล้า พบว่าต้นกล้าที่มีเอคโตไมคอร์ไรซามีการเติบโต ด้านมวลชีวภาพส่วนยอดและราก สูงกว่าต้นกล้าที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา

รากเอคโตไมคอร์ไรซาอาจมี สีน้ำตาล เหลือง ขาว เขียว ดำ น้ำเงิน ทอง ขึ้นอยู่กับชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซาที่เข้าไปอาศัยอยู่ร่วมกับรากพืช สีของรากเอคโตไมคอร์ไรซาอาจไม่เกิดจากราแต่เกิดจากสีของเซลล์ชั้นแทนนิน (Marks and Foster, 1973; Zak, 1973) Wilcox (1982) พบว่าสีและลักษณะผิวของรากเอคโตไมคอร์ไรซาแตกต่างกันไป เนื่องจาก สี ความหนาของแผ่นแมนเทิล ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากได้รับอิทธิพลของความเป็นกรดเป็นด่างของดินบริเวณที่ราอาศัยอยู่ ผิวของแผ่นแมนเทิลอาจมี rhizomorph เจริญยื่นออกมาได้ ส่วนใหญ่แล้วมีสีเข้มกว่าแผ่นแมนเทิล มีขนาดและลักษณะผิวแตกต่างกัน ได้แก่ ผิวเรียบ คล้ายกำมะหยี่ หรือคล้ายขนสัตว์ เป็นต้น (Zak, 1973)

สำหรับราที่เป็นเอคโตไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่อยู่ในชั้น (class) Basidiomycetes มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นราในชั้น Ascomycetes และมีเพียง 1 สกุล (genus) ที่อยู่ในชั้น Zygomycetes คือ สกุล *Endogone* Brundrett *et al.* (1996) รายงานว่า พืชที่มีเอคโตไมคอร์ไรซาเกือบทั้งหมดเป็นพืชป่าไม้ ได้แก่ วงศ์ Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae, Salicaceae, Juglandaceae, Caesalpiniaceae, Dipterocarpaceae, Myrtaceae และ Tiliaceae

**2. อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา (arbuscular mycorrhiza)**

ราเอนโดไมคอร์ไรซาไม่สร้างแผ่นแมนเทิลมีเส้นใยที่แทงผ่านผนังเซลล์ชั้นเซลล์ผิวเข้าไปเจริญอยู่ภายในเซลล์ของชั้นเซลล์ผิวและชั้นคอร์เทกซ์ แต่เส้นใยของราจะไม่เจริญเข้าไปในเซลล์ชั้นเอนโดเดอร์มิส และชั้นท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ราจะสร้างโครงสร้าง 2 แบบ เพื่อทำหน้าที่ดูดอาหารคือ โครงสร้างที่มีรูปร่างกลมและผนังบาง เรียกว่า เวสสิเคิล (vesicle) หรืออาจสร้างโครงสร้างที่มีผนังหนา แตกแขนงคล้ายรากไม้ เรียกว่า อาบัสคูล (arbuscule) ใช้สำหรับสะสมธาตุอาหาร รากที่มีเอนโดไมคอร์ไรซาจะมีรูปร่างเช่นเดียวกับรากพืชปกติทั่วๆไป (Harley and Smith, 1983; Brundrett *et al.*, 1996) ปัจจุบันนิยมเรียกความสัมพันธ์ชนิดนี้ว่า arbuscular mycorrhiza จากเดิมที่เคยเรียกว่า endomycorrhiza และ vesicular-arbuscular mycorrhiza (Peterson *et al.*, 2004)

ราเอนโดไมคอร์ไรซาเป็นราที่อาศัยอยู่ในดิน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในชั้น Glomeromycetes ประกอบด้วย 4 อันดับ คือ Archaesporales, Paraglomerales, Diversisporales และ Glomerales ความสัมพันธ์แบบเอนโดไมคอร์ไรซาพบในพืชเกือบทุกชนิด ทั้งที่เป็นพืชกลุ่ม gymnosperm เช่น สกุล *Thuja*, *Sequoia*, *Metasequoia* และพืชกลุ่ม angiosperm ยกเว้นพืชในวงศ์ Brassicaceae, Chenopodiaceae นอกจากนี้ราเอนโดไมคอร์ไรซาหลายชนิดพบในพืชไร่ เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว ถั่วเหลือง องุ่น ฝ้าย เป็นต้น และพบในพืชสวนหลายชนิด เช่น กุหลาบ ลิลลี่ คาเนชั่น เป็นต้น (Peterson *et al.*, 2004)

**3. เอคเทนโดไมคอร์ไรซา (ectendomycorrhiza)**

ไมคอร์ไรซาชนิดนี้มีลักษณะของเอคโตไมคอร์ซาและเอนโดไมคอร์ไรซาอยู่ด้วยกัน ราเอคเทนโดไมคอร์ไรซาอาจสร้างแผ่นแมนเทิล และเส้นใยฮาร์ติกเน็ทเหมือนกับเอคโตไมคอร์ไรซา

ขึ้น และสร้างเส้นใยภายในเซลล์ชั้นเซลล์ผิวและชั้นคอร์เทกซ์ด้วย เส้นใยที่เจริญเข้าไปภายในเซลล์มีรูปร่างคล้ายขดลวด (Brundrett *et al.*, 1996; Peterson *et al.*, 2004)

Mikola (1965) และ Harley and Smith (1983) พบว่าราเอคเทนโดไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่อยู่ในชั้น Basidiomycetes และ Ascomycetes มีการสร้าง chlamydospore อยู่ภายในเส้นใยแต่ไม่พบการสร้าง conidium และโครงสร้างสืบพันธุ์อื่น ๆ ราเอคเทนโดไมคอร์ไรซาที่พบใน *Pinus contorta* จัดอยู่ในชั้น Ascomycetes ในอันดับ Pezizales เช่น *Wilcoxina mikolae* var. *mikolae*, *W. mikolae* var. *tetraspora* และ *W. rehmin* ความสัมพันธ์แบบเอคเทนโดไมคอร์ไรซาพบในพืชตระกูลสน 2 สกุล คือ สกุล *Pinus* มีประมาณ 100 ชนิด และสกุล *Larix* มีประมาณ 10-20 ชนิด (Peterson *et al.*, 2004)

**4. อีรีคอยด์ไมคอร์ไรซา ไมคอร์ไรซา (ericoid mycorrhiza)**

รากพืชที่มี ericoid mycorrhiza อาศัยอยู่นั้นจะมีลักษณะพิเศษคือ มีรากแขนง (lateral roots) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแคบ ๆ เรียกว่า hair root ขึ้น รา ericoid mycorrhiza สร้างเส้นใยเจริญพันกันคล้ายขดลวด ไม่สร้างแผ่นแมนเทิลและเส้นใยฮาร์ติกเน็ท ericoid mycorrhiza มีบทบาทในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหาร รา ericoid mycorrhiza ที่พบ ได้แก่ *Pezizella ericae* และ *Oidiodendron* sp. ซึ่งอยู่ในชั้น Ascomycetes (Peterson *et al.*, 2004) บางชนิดเป็นราในชั้น Basidiomycetes (Brundrett *et al.*, 1996) พืชในอันดับ Ericales โดยเฉพาะพืชในวงศ์ Ericaceae, Epacridaceae และ Empetraceae มีความสัมพันธ์แบบ ericoid mycorrhiza (Harley and Smith, 1983; Peterson *et al.*, 2004)

**5. โมโนโทรพอยด์ ไมคอร์ไรซา (monotropoid mycorrhiza)**

รา monotropoid mycorrhiza สร้างแผ่นแมนเทิลซึ่งบางครั้งมีความหนามากบริเวณรอบราก สร้างเส้นใยฮาร์ติกเน็ทบริเวณชั้นเซลล์ผิว และพบเส้นใยแทงเข้าไปในเซลล์ของชั้นเซลล์ผิว ต่อมาเจริญเป็น haustorium ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ๆ ไม่แตกแขนง (Harley and Smith, 1983; Peterson *et al.*, 2004) รา monotropoid mycorrhiza จัดอยู่ในชั้น Basidiomycetes ได้แก่ *Tricholoma*, *Russula* ส่วนใหญ่พบในพืชวงศ์ Monotropaceae สำหรับสกุลที่พบในแถบเอเชีย ได้แก่ *Cheilotheca*, *Monotropa* และ *Pleuricospora* (Peterson *et al.*, 2004) มักพบไมคอร์ไรซา

ชนิดนี้อยู่ร่วมกับไม้ป่าหลายชนิด เช่น บีช (beech) สน (pine) และ conifer ชนิดอื่น ๆ (Harley and Smith, 1983)

**6. อาร์บูทอยด์ ไมคอร์ไรซา (arbutoid mycorrhiza)**

รา arbutoid mycorrhiza สร้างแผ่นแมนเทิลและเส้นใยฮาร์ติกเน็ท เจริญระหว่างเซลล์ชั้นเซลล์ผิว หรืออาจสร้างเส้นใยคล้ายขดลวดขึ้นภายในเซลล์ ราที่มีความสัมพันธ์เช่นนี้จัดอยู่ในชั้น Basidiomycetes บางครั้งอาจพบราจัดอยู่ในชั้น Ascomycetes และ Zygomycetes ด้วย (Brundrett *et al.*, 1996) พืชที่มีความสัมพันธ์กับไมคอร์ไรซาชนิดนี้คือ พืชสกุล *Arbutus* และสกุล *Arctostaphylos* ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Ericaceae และหลายสกุลในวงศ์ Pyrolaceae เช่น สกุล *Pyrola* (Peterson *et al.*, 2004)

**7. ออร์คิด ไมคอร์ไรซา (orchid mycorrhiza)**

รา orchid mycorrhiza สร้างเส้นใยที่มีลักษณะคล้ายขดลวดภายในเซลล์ เรียกว่า pelotons อาจเรียกว่าเป็นเอนโดไมคอร์ไรซาชนิดหนึ่ง ราที่มีความสัมพันธ์แบบไมคอร์ไรซาชนิดนี้จัดอยู่ในชั้น Basidiomycetes ตัวอย่างเช่น *Rhizoctonia* ซึ่งสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดกล้วยไม้ได้ พืชวงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) หลายชนิดมีความสัมพันธ์แบบ orchid mycorrhiza เช่น *Paphiopedilum* sp., *Cephalanthera longibracteata* เป็นต้น (Peterson *et al.*, 2004)

## การปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาให้กับพืช

โดยปกติแล้วในพื้นที่ป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์จะมีไมคอร์ไรซาเจริญอยู่ที่รากพืชเสมอ แต่เมื่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติถูกทำลาย ราไมคอร์ไรซาก็ถูกทำลายและลดน้อยลงด้วย ดังนั้นการนำกล้าไม้ไปปลูกในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมจึงควรปลูกราไมคอร์ไรซาให้กับกล้าไม้เพื่อเร่งการเติบโตของกล้าไม้ก่อนนำไปปลูก สำหรับวิธีการปลูกราไมคอร์ไรซาให้กับกล้าไม้ที่นิยมใช้กันมี 4 วิธี ดังต่อไปนี้ (อุทัยวรรณ, 2537; Brundett *et al.*, 1996)

**1. การใช้ดินเชื้อ (soil inoculum)**

เป็นวิธีการที่ใช้กันมานานแต่ให้ผลดี ทำง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน ทำโดยขุดดินที่มีไมคอร์ซาจากในป่าธรรมชาติหรือสวนป่า มาผสมกับดินหรือวัสดุสำหรับปลูก ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1-50 เปอร์เซ็นต์ การปลูกเชื้อวิธีนี้จะไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นราชนิดใดและมีจำนวนรากี่ชนิดที่อยู่ในดิน อีกทั้งอาจมีศัตรูของกล้าไม้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคกับกล้าไม้ ปะปนอยู่มากับดินได้

**2. การใช้กล้าไม้ที่มีไมคอร์ไรซาอยู่แล้ว (ectomycorrhizal seedling)**

ทำโดยนำกล้าไม้ที่มีไมคอร์ไรซาอยู่แล้วปลูกห่างกัน 1-2 เมตรในแปลงปลูก จากนั้นจึงนำกล้าไม้ที่ไม่มีไมคอร์ไรซามาปลูกรอบๆ กล้าไม้ที่มีไมคอร์ไรซานั้น ในระยะห่างประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อกล้าไม้ที่นำมาปลูกใหม่ มีราไมคอร์ไรซาเจริญดีแล้ว ก็ย้ายไปปลูกในสถานที่อื่นต่อไป โดยเหลือกล้าไม้บางส่วนที่มีไมคอร์ไรซาไว้ในแปลง สำหรับปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาให้แก่กล้าไม้ในรุ่นต่อ ๆ ไป วิธีการนี้นอกจากทำได้ง่ายแล้วยังสามารถเก็บรักษาราไมคอร์ไรซาให้มีชีวิตอยู่ได้เป็นระยะเวลานานๆ

**3. การใช้ดอกเห็ด และสปอร์ (sporophores and spores inoculum)**

เป็นวิธีที่ง่ายและสามารถทำได้หลายแบบ ขึ้นอยู่ว่าแบบใดสะดวกต่อการปฏิบัติมากที่สุด เช่น ใช้ดอกเห็ดมาสับเป็นชิ้นขนาดเล็ก หรือใช้สปอร์ผสมกับดินที่ใช้ปลูกกล้าไม้ สำหรับชนิดของราที่สร้างสปอร์จำนวนมากในดอกเห็ด 1 ดอก เช่น ราในสกุล *Pisolthus* และ *Scleroderma* นั้นนิยมปลูกเชื้อด้วยการนำสปอร์ผสมกับน้ำให้มีความหนาแน่นของสปอร์ในระดับต่าง ๆ แล้วนำไปรดให้กล้าไม้ สปอร์อาจถูกทำให้แห้ง แล้วคลุกกับเมล็ดพืชก่อนนำเมล็ดไปเพาะ หรืออาจใช้สปอร์ที่อัดเป็นเม็ด ใส่ลงในถุงเพาะกล้าไม้ก็ได้

**4. การใช้เชื้อบริสุทธิ์ (pure culture inoculum)**

การแยกเชื้อบริสุทธิ์ของราไมคอร์ไรซา สามารถทำได้ 2 วิธี คือ โดยการแยกเส้นใยออกจากรากที่มีไมคอรีไรซาของต้นไม้ไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยการแยกเส้นใยราจากดอกเห็ดที่

เป็นไมคอร์ไรซาและทราบชนิดแล้ว โดยนำชิ้นส่วนของดอกเห็ดไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วขยายเพิ่มปริมาณ จากนั้นจึงนำเส้นใยบริสุทธิ์ไปปลูกให้กับกล้าไม้ต่อไป

การปลูกเชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ซึ่งได้สรุปและแสดงในตางรางที่ 1

**ตางรางที่ 1** ข้อดีและข้อเสียของวิธีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาให้แก่กล้าไม้

| วิธีการปลูกเชื้อ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| การใช้ดินเชื้อ | - ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย<br>- เชื้อราสามารถปรับตัวได้ดีต่อสภาวะแวดล้อมของพื้นที่ ที่นำกล้าไม้ไปปลูก | - เสี่ยงต่อการมีเชื้อสาเหตุโรคหรือวัชพืชติดมากับดิน<br>- ไม่สามารถระบุชนิดของรา |
| การใช้กล้าไม้ที่มีไมคอร์ไรซาอยู่แล้ว | - เก็บรักษาได้นาน และนำมาใช้เวลาใดก็ได้ | - เสี่ยงต่อการที่กล้าไม้จะติดโรคจากในแปลงที่ใช้ปลูกเชื้อ |
| การใช้ดอกเห็ดและสปอร์ | - ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย<br>- ไม่ต้องใช้อุปกรณ์และขั้นตอนที่ยุ่งยาก | - บางฤดูกาลเก็บหาดอกเห็ดยาก<br>- สปอร์อาจงอกช้าและความมีชีวิตไม่ยืนยาว |
| การใช้เชื้อบริสุทธิ์ | - สามารถเลือกชนิดและจำนวนรา ที่ต้องการปลูกเชื้อได้<br>- เก็บรักษาได้นาน และสามารถ นำมาใช้เวลาใดก็ได้ | - มีวิธีการที่ยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายสูง<br>- ต้องอาศัยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติ<br>- ราบางชนิดไม่สามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ |

## ความสัมพันธ์ของไม้วงศ์ยางกับราเอคโตไมคอร์ไรซา

ความสัมพันธ์ของไม้วงศ์ยางกับราไมคอร์ไรซาพบครั้งแรกในปี ค.ศ 1920 (Smits, 1992) และกล่าวได้ว่าพรรณไม้วงศ์ยางทุกชนิดมีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา (Peterson *et al.*, 2004) ดังตัวอย่างการศึกษาของ Singh (1966) ที่พบว่าไม้วงศ์ยางหลายชนิดมีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา ได้แก่ *Anisoptera laevis*, *Balanocarpus hemii*, *Dipterocarpus oblongifolius*, *D. sublamellatus*, *Dryobalanops aromatica*, *Hopea furruginea*, *Shorea curtisii*, *S. leprosula*, *S. macroptera*, *S. ovalis*, *S. pauciflora* และ *Vatica papuana* การศึกษาไม้วงศ์ยางในประเทศศรีลังกาโดย Alwis and Abeynayake (1980) พบว่าไม้วงศ์ยาง 5 ชนิด มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา ได้แก่ *S. affinis*, *D. zeylanicus*, *D. hispidus*, *Cotylelobium scarbriusculum* และ *H. jucunda* เนื่องจากไม้วงศ์ยางเป็นไม้ที่มีความสำคัญในประเทศฟิลิปินส์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างกว้างขวาง โดยพบว่าไม้วงศ์ยางหลายชนิด ได้แก่ *A. thurifera D. gracilis D. grandiflorus H. foxworthyi S. contorta S. paosapis S. almon S. polysperma S. quiso* และ *Parshorea malanonn* มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา (Pollisco, 1991) ส่วนในประเทศอินโดนีเซียก็ให้ความสำคัญในการศึกษาความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซาของไม้วงศ์ยางเช่นเดียวกัน ได้รายงานว่าไม้วงศ์ยาง ซึ่งสกุล *Shorea* เป็นส่วนใหญ่ รวมถึงสกุลอื่น ๆ ได้แก่ *Dipterocarpus Hopea* และ *Vatica* มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา (Hadi *et al*., 1991)

สำหรับในประเทศไทย มีการรายงานว่าชนิดของไม้วงศ์ยาง ที่มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซาหลายชนิด เป็นชนิดเดียวกับที่มีการศึกษาในประเทศอื่นๆ จากการสำรวจไม้วงศ์ยางในป่าธรรมชาติ อนิวรรต และ ธีรวัฒน์ (2525) และ Chalermponge (1995) พบว่าไม้วงศ์ยาง 11 ชนิดมีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา ได้แก่ ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) เหียง (*D. obtusifolius*) พลวง (*D. tuberculatus*) กราด (*D. intricatus*) ยางปาย (*D. costatus*) เต็ง (*Shorea obtusa*) พะยอม (*S. roxburghii*) รัง (*S. siamensis*) เคี่ยมคะนอง (*S. henryana*) ตะเคียนทอง (*H. odorata*) และตะเคียนหิน (*H. ferrea*)

## งานวิจัยเกี่ยวกับเอคโตไมคอร์ไรซาของไม้ยางนา

งานวิจัยเกี่ยวกับเอคโตไมคอร์ไรซาของไม้ยางนา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวบรวมได้ดังนี้

ทนุวงศ์ (2534) ได้สำรวจและเก็บตัวอย่างดอกเห็ดที่ขึ้นอยู่บริเวณใต้ต้นยางนา บริเวณสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์ วังน้ำเขียว อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา พบดอกเห็ด จำนวน 9 ชนิด ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซากับรากไม้ยางนา เห็ดส่วนใหญ่จัดอยู่ในสกุล *Russula* และในป่าธรรมชาติ รากของยางนาที่มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซา มี 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 รากมีสีน้ำตาลปนดำ ผิวเรียบ แตกแขนงแบบ monopodial-pinnate รูปแบบที่ 2 รากมีสีเหลือง ผิวเรียบ แตกแขนงแบบ irregular-pinnate และรูปแบบที่ 3 รากมีสีขาวปนเหลืองอ่อน ผิวหยาบ และแตกแขนงแบบ monopodial-pinnate จากการทดสอบความสามารถในการก่อให้เกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาด้วยวิธี pure culture ectomycorrhizal synthesis พบว่าเห็ด *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg., *Cenococcum geophilum* Fr. และ *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker&Couch สามารถก่อให้เกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาได้ เมื่อเปรียบเทียบการเติบโตของกล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากในเรือนเพาะชำโดยปลูกราเอคโตไมคอร์ไรซาให้กับกล้าไม้ 2 วิธี คือ ใช้ดินเชื้อที่ได้จากดินบริเวณใต้ต้นยางนาในป่าธรรมชาติ และใช้ดินสีดานึ่งฆ่าเชื้อแล้วใส่ดอกเห็ด 1 ใน 3 ชนิด คือ เห็ดตะไคล (*Russula aeruginea* Lindbl.) เห็ดน้ำแป้ง (*R. albida* Peck.) และเห็ดน้ำหมาก (*R. sanguinea* Fr.) พบว่ากล้าไม้ยางนาที่ปลูกในดินเชื้อ มีการเติบโตสูงกว่ากล้าไม้ที่ปลูกในดินสีดานึ่งฆ่าเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการปลูกราเอคโตไมคอร์ไรซาด้วยดอกเห็ด พบว่ากล้าไม้ยางนาที่ปลูกในดินสีดานึ่งฆ่าเชื้อที่ใส่ดอกเห็ดตะไคลมีการเติบโตสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ กล้าไม้ที่ปลูกในดินสีดานึ่งฆ่าเชื้อที่ใส่ชิ้นส่วนของดอกเห็ดน้ำหมาก ดอกเห็ดน้ำแป้งและไม่ใส่ดอกเห็ดชนิดใดเลยตามลำดับ

Shyun *et al.* (1994) รายงานผลการศึกษาเบื้องต้นของการศึกษาอัตราการรอดตายและการแข่งขันกันของรา *Pisolithus tinctorius* 2 สายพันธุ์ คือ Pt441 จากประเทศบราซิลและ Ptmsn จากประเทศไทย ซึ่งปลูกเชื้อราลงในกล้าไม้ยางนาและ *Shorea glauca* จากนั้นย้ายปลูกในพื้นที่ป่าที่กำลังฟื้นตัวและพื้นที่ที่ทำไม้ไปแล้ว ในประเทศมาเลเซีย ผลการศึกษาพบว่า หลังจากย้ายปลูกกล้าไม้เป็นเวลา 6 เดือน รา *Pisolithus tinctorius* สายพันธุ์ Ptmsn ที่ปลูกลงในกล้าไม้ยางนามีอัตราการรอดตายไม่ดีนักและถูกราไมคอร์ไรซาชนิดอื่นที่มีอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ป่าที่กำลังฟื้นตัว

เจริญเติบโตปกคลุม ส่วนราสายพันธุ์ Ptmsn และ Pt441 ที่ปลูกลงในกล้าไม้ *Shorea glauca* มีอัตราการรอดตายต่ำมาก และถูกปกคลุมด้วยราไมคอร์ไรซาที่มีอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ที่ทำไม้ไปแล้ว

ชนะ และคณะ (2542) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ย และราเอคโตไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนา และตะเคียนทอง (*Hopea odorata*) ในเรือนเพาะชำของศูนย์จัดการเมล็ดพันธุ์ไม้ป่า อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี มีทั้งหมด 6 ทรีทเมนต์ ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขุยมะพร้าวใส่ปุ๋ย osmocote ดินเชื้อไมคอร์ไรซา ดินเชื้อไมคอร์ไรซาใส่ปุ๋ย osmocote ขุยมะพร้าวผสมดินเชื้อไมคอร์ไรซา และขุยมะพร้าวผสมดินเชื้อไมคอร์ไรซาใส่ปุ๋ย osmocote พบว่า ขุยมะพร้าวใส่ปุ๋ย osmocote และขุยมะพร้าวผสมดินเชื้อไมคอร์ไรซาใส่ปุ๋ย osmocote เป็นวัสดุเพาะชำที่มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะชำกล้าไม้วงศ์ยางทั้งสองชนิดนี้ในเรือนเพาะชำ และมีความเป็นไปได้ว่า ดินเชื้อไมคอร์ไรซาและใส่ปุ๋ย osmocote มีความสัมพันธ์ทางด้านบวกต่อการเติบโตของกล้าไม้ยางนาและตะเคียนทอง

จินตนา และ ศิริภา (2545) ได้สำรวจความหลากหลายของราเอคโตไมคอร์ไรซาในสวนป่าไม้วงศ์ยางบางชนิดของสถานีทดลองปลูกพรรณไม้ห้วยทา จังหวัดศรีสะเกษ สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่าสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา และสถานีทดลองปลูกพรรณไม้ห้วยมุด จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่ามีเห็ดที่คาดว่ามีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซากับไม้ยางนา 7 ชนิด ได้แก่ *Amanita hemibupha* subsp. *javanica*, *A. princes*, *Russula lepida*, *Scleroderma aereolatum*, *S. neosaccadia*, *Clavulina* sp. และ *Lactarius* sp.

วสันณ์ และคณะ (2548) ได้จุ่มรากที่มีดินติดอยู่ของกล้ายางนาอายุ 3 ปี ลงในน้ำที่มีสปอร์เห็ดเผาะแขวนลอยอยู่ หลังจากนั้น 2 ปี พบว่าทุกรากเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา โดยเส้นใยที่พบจะมีสีน้ำตาลอ่อน มี clamp connection ซึ่งคล้ายกับเส้นใยเห็ดเผาะ แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นเส้นใยของเห็ดเผาะ เนื่องจากไม่พบดอกเห็ดขึ้นบริเวณรากยางนา นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบการเจริญของเส้นใยเห็ดเผาะในสภาพการเลี้ยงที่แตกต่างกัน โดยปลูกเส้นใยบริสุทธิ์ของเห็ดเผาะในขวดซึ่งเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยางนาไว้แล้ว พบว่าขวดที่อยู่ในสภาพที่มีกล้ายางนาเจริญอยู่ร่วมกับเห็ดเผาะนั้นเส้นใยเจริญได้เร็วกว่าในขวดที่ไม่มีต้นยางนาเจริญอยู่ถึงประมาณ 3 เท่า เส้นใยเห็ดเผาะเมื่อเจริญมาพบกับรากยางนาจะเจริญแนบไปกับรากและแตกแขนง เมื่อถึงบริเวณปลายรากเส้นใยจะฟูออก ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างรากยางนากับเส้นใยของเห็ดเผาะ

สุภานี (2545) ได้จำแนกชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซาในไม้ยางนาจำนวน 26 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค polymerase chain reaction (PCR) เพิ่มปริมาณชิ้นดีเอ็นเอที่จำเพาะ (ML5-ML6) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Mitochondrial Large subunit ribosomal DNA (mt LrDNA) แล้วนำไปหาลำดับเบส เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกับราเอคโตไมคอร์ไรซาที่มีอยู่ในฐานข้อมูล พบว่าเอคโตไมคอร์ไรซาที่พบส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ *Thelephoraceae* ได้แก่ *Tomentella* spp. รองลงมาคือ ราในวงศ์ *Sclerodermaceae* ได้แก่ *Scleroderma* spp. ส่วนราที่พบในบางพื้นที่ ได้แก่ วงศ์ *Russulaceae*, *Cortinariaceae*, *Tricholomataceae* และ *Boletaceae* ซึ่ง ได้แก่ *Tylopilus* sp. และ *Leccinum* sp.

Yuwa-Amornpitak *et al.* (2006) ศึกษาความหลากหลายของราเอคโตไมคอร์ไรซาของไม้วงศ์ยางในประเทศไทย โดยเพิ่มปริมาณ ribosomal DNA ส่วนที่เรียกว่า internal transcribed spacer (ITS) แล้วนำไปหาลำดับเบสเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดจำแนกชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซา พบว่ารากไม้ยางนาที่นำมาทำการศึกษามีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซากับรา 3 ชนิด คือ *Amanita virosa*, *Pisolithus* sp.และ *Tomentella* sp.

**เห็ดเผาะหนัง**

เห็ดเผาะจัดอยู่ในชั้น Basidiomycetes วงศ์ Sclerodermataceae สกุล *Astraeus* (Kirk *et al.*, 2001) พบได้ทั่วโลก มีเขตการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยทั่วทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ในต่างประเทศไม่นิยมรับประทาน เนื่องจากเมื่อแก่มีลักษณะแข็งและเหนียว สำหรับในประเทศไทยเห็ดเผาะนิยมนำมารับประทานกันมาก เพราะมีรสชาติดี จึงทำให้มีราคาแพง (ราชบัณฑิตยสถาน, 2539) แต่เดิม อนงค์ (2530) ได้รายงานว่าเห็ดเผาะที่พบในประเทศไทยมี 2 สายพันธุ์ คือ เห็ดเผาะที่มีสีค่อนข้างดำ และเห็ดเหียงที่มีสีขาวและขนาดเล็กกว่าชนิดแรกเล็กน้อย โดยได้ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์เหมือนกัน คือ *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg. แต่จากการสำรวจและเก็บรวบรวมเห็ดเผาะทั่วประเทศของ วสันณ์ และคณะ (2548); Phosri *et al.* (2004); Petcharat (2005) และ Phosri *et al.* (2007) พบว่าเห็ดเผาะในประเทศไทยมี 3 ชนิด ดังนี้ ชนิดแรกคือ เห็ดเผาะฝ้าย (*A. hygrometricus* (Pers.) Morg.) ชนิดที่สองคือ เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) และชนิดที่สามคือ *A. asiaticus* C. Phosri, M.P. Martín & R. Watling

เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley) มีชื่อพ้อง (synonym) คือ *A. thailandicus* V. Petcharat อีกชื่อหนึ่ง มีลักษณะทั่วไปคือ ดอกเห็ดมีสีน้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลอ่อน รูปร่างเป็นก้อนกลมหรือกลมแบน (depressed globose) ไม่มีก้าน ดอกเห็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 65 มิลลิเมตร ผิวเรียบและแข็ง มีเส้นใยราหรือ rhizomorph สีน้ำตาลปนแดงบริเวณด้านล่างของดอก ดอกอ่อนของเห็ดจะมีกลิ่นแรง คล้ายกลิ่นดินชื้น ๆ เมื่อดอกเห็ดแก่ผนังชั้นนอก (exoperidium) จะแตกออกเป็นแฉกคล้ายรูปดาว 3-9 แฉก ผนังมีความกว้างไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ผิวด้านในของผนังชั้นนอกสีม่วงถึงสีดำปนม่วง แตกออกเป็นสะเก็ด ดอกเห็ดมีผนังชั้นใน (endoperidium) รูปร่างค่อนข้างกลม กว้าง 13-25 มิลลิเมตร สีน้ำตาลอ่อนหรือสีดำปนม่วง กลีบา (gleba) สีน้ำตาลปนม่วงถึงสีดำปนม่วง ไม่มี columella มี capillitium เป็นเส้นยาวแตกแขนง ใสไม่มีสี ไม่มีผนังกั้นตามขวาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-6.25 ไมโครเมตร สปอร์รูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5-15.2 ไมโครเมตร สีน้ำตาลปนม่วงหรือสีดำปนม่วง ผิวสปอร์เป็นปุ่มปมประกอบด้วยเส้นใย ที่บริเวณปลายมารวมติดกันมีลักษณะคล้ายหนามยาว 1.04-1.66 ไมโครเมตร โดยมีความหนาแน่นปานกลาง (Phosri *et al.*, 2004)

เห็ดเผาะนอกจากมีรายงานการวิจัยว่ามีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซากับยางนาแล้ว (ทนุวงศ์, 2534) ยังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาของสนสามใบด้วย โดยจิตรตรา (2539) พบว่ารากเอคโต-ไมคอร์ไรซานั้นมีรูปร่างแตกแขนงเป็นสองง่าม (dichotomous) หรืออาจไม่แตกแขนง ผิวของแผ่นแมนเทิลเรียบมันวาว มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อศึกษารากเอคโตไมคอร์ไรซาของสนสามใบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดพบว่า แผ่นแมนเทิลค่อนข้างบางมาก มีเส้นใยกระจายอยู่หลวม ๆ อยู่บริเวณผิวรากและมีเส้นใยฮาร์ติกเน็ทอยู่ระหว่างชั้นเซลล์ผิว

## ไมคอร์ไรซากับการใช้น้ำของพืช

น้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่และสำคัญของพืช โดยมีบทบาททำให้เกิดการเคลื่อนย้ายสารผ่านส่วนต่าง ๆ ภายในเซลล์ และเป็นตัวทำละลายของสารอินทรีย์ อนินทรีย์และแกส รวมทั้งมีส่วนสำคัญในการรักษาความเต่งของเซลล์ และรักษารูปทรงของพืชอีกด้วย แต่ในสภาพธรรมชาติปริมาณน้ำที่อยู่ในพืชมีปริมาณน้อยมาก (ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ถูกดูดไปจากดินผ่านต้นพืชและสูญเสียออกไปโดยการคายน้ำ (ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชในแต่ละวันจะมากหรือน้อยเพียงใด จึงสามารถวัดได้จากค่าการคายน้ำของพืช (Kramer and Kozlowski, 1979)

ดินเป็นแหล่งเก็บน้ำให้แก่พืช รากพืชจะทำหน้าที่ดูดน้ำขึ้นไปใช้ ทำให้เกิดความสมดุลของน้ำที่พืชสูญเสียไปจากการคายน้ำสู่บรรยากาศผ่านทางปากใบ ดังนั้นปากใบจึงมีความสำคัญในการควบคุมระดับน้ำในใบพืช แต่ถ้าดินแห้ง ปริมาณน้ำในดินมีน้อย รากพืชจะไม่สามารถดูดน้ำได้ปกติ พืชจะมีการปรับตัวโดยปิดปากใบ เพื่อพยายามรักษาระดับน้ำในใบ และรักษาความเต่งของเซลล์ไว้ พืชที่มีคุณสมบัติปรับตัวเมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำได้ดี ควรมีการปรับตัวอย่างสมดุล กล่าวคือ มีการใช้น้ำอย่างประหยัด ในขณะเดียวกันก็ยังสร้างอาหารได้อย่างเหมาะสมด้วย ซึ่งอาจหมายถึงการที่พืชสามารถนำน้ำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการสังเคราะห์แสงนั้นเอง (สายัณห์, 2537)

ในสภาวะแห้งแล้งไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของน้ำในพืช ทำให้ความต้านทานของราก (root resistance) ต่ำลง หรือทำให้ค่าชักนำการเปิดปากใบสูงขึ้น จึงเกิดการสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งความต้านทานของรากที่ลดลงนั้นเนื่องจากรากพืชมีเส้นใยของราไมคอร์ไรซาจำนวนมากที่ยื่นยาวและแผ่กระจายออกไปจากรากเพื่อช่วยดูดน้ำ (Richards, 1994) เส้นใยของราช่วยทำให้ระบบรากของพืชยืดยาวมากขึ้น และทำให้ระบบรากไม้ยืนต้นมีการแผ่กระจายคล้ายรากของไม้ล้มลุก (Kramer and Kozlowski, 1979) ดังนั้นกล้าไม้ที่มีราไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่นั้นจึงประสิทธิภาพการใช้น้ำได้ดีกว่ากล้าไม้ที่ไม่มีราไมคอร์ไรซา ตัวอย่างการศึกษาของ Mason *et al.* (2000) แสดงให้เห็นว่าเมื่อปลูกราเอคโตไมคอร์ไรซา 2 ชนิด คือ *Laccaria fraterna* (Cooke and Mass.) Peg. และ *Pisolithus tinctorius* (Pers.) ให้กับกล้าไม้ *Eucalyptus globulus* (Labill) ในสภาวะแห้งแล้ง พบว่ากล้าไม้ *Eucalyptus globulus* ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซามีการเติบโตและมีค่าชักนำการเปิดปากใบสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกราเอคโตไมคอร์ไรซา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Morte *et al.* (2000) ซึ่งพบว่ากล้าไม้ *Helianthemum almeriense* ที่มี *Terfezia claveryi* อาศัยอยู่ร่วมกันในสภาวะแห้งแล้ง มีอัตราการรอดตาย ค่าชลศักย์ของน้ำในใบ ค่าการคายน้ำ (transpiration) ค่าชักนำการเปิดปากใบ และค่าการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่มี *Terfezia claveryi* อาศัยอยู่ร่วมกัน

# อุปกรณ์และวิธีการ

## 1. การเตรียมกล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนังอยู่ร่วมกับรากแบบเอคโตไมคอร์ไรซา

1.1 การเตรียมดิน

ใช้ดินในระดับความลึก 0-10 เซนติเมตรจากบริเวณป่าเสื่อมโทรมเชิงเขากะโลง ใกล้สถานีวิจัยวนเกษตรตราด จังหวัดตราด และจากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินโดยห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาป่าไม้ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าเป็นดินประเภท sandy clay loam ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยมีปริมาณธาตุไนโตรเจน 0.18 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียม 47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียม 263 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียม 73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.67 นำดินไปรมควันฆ่าเชื้อด้วยเมททิลโบรไมด์ (methyl bromide) และพลิกหน้าดิน ปล่อยทิ้งไว้ 7 วัน เพื่อให้แก๊สเมททิลโบรไมด์ระเหยออกไปไม่เหลือตกค้างอยู่ในดิน

1.2 การเพาะกล้าไม้ยางนา

นำเมล็ดยางนาที่ร่วงจากต้นใหม่ ๆ จากสถานีเพาะชำกล้าไม้ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ใส่ถุงกระสอบแช่น้ำ 1 คืน แล้วเทน้ำออกจนหมดและมัดปากถุงกระสอบให้แน่น เพื่อรักษาความชื้นภายในถุง วางทิ้งไว้กลางแจ้งประมาณ 1 สัปดาห์ จากนั้นเปิดปากถุงออกเพื่อคัดเลือกเมล็ดยางนาที่มีรากงอกออกมายาวประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วนำมาปลูกในดินที่เตรียมไว้ซึ่งบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกสีดำ ขนาด 4x6 นิ้ว โดยใช้เมล็ดยางนา 1 เมล็ดต่อถุง การรดน้ำกล้าไม้ใช้บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ใส่น้ำจนเต็มแล้วรดกล้าไม้ทีละต้น 1 ครั้งต่อวัน ทุก ๆ วัน เมื่อต้นกล้าอายุ 4 สัปดาห์ นำไปปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังซึ่งเป็นราเอคโตไมคอร์ไรซาของยางนาด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อไป

## 2. การปลูกเห็ดเผาะหนังให้กับกล้าไม้ยางนา

ทำการปลูกเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้ยางนาอายุ 1 เดือน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) มี 5 ทรีทเมนต์ คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ (spore

suspension) 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ (pure mycelium culture) 25 มิลลิลิตรต่อต้น และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง โดยแต่ละทรีทเมนต์มี 6 ซ้ำ ดังนั้นจึงใช้กล้าไม้ยางนาทั้งหมด 30 ต้น โดยกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละทรีทเมนต์ดังนี้

SS10 คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10 มิลลิลิตรต่อต้น
SS25 คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น
SS50 คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 50 มิลลิลิตรต่อต้น
PC25 คือ ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น
control คือ ไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง

การเตรียมสารแขวนลอยของสปอร์ ทำโดยนำดอกเห็ดเผาะหนังผึ่งให้แห้ง ฉีกผนังชั้นนอกและผนังชั้นในออกเหลือเพียงก้อนสปอร์ จากนั้นร่อนสปอร์บนตะแกรงลวด เพื่อให้ได้สปอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลเข้มถึงสีน้ำตาลปนดำ นำสปอร์ผสมน้ำอัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร เติมน้ำยาล้างจาน (teepol) 2-3 หยด เพื่อลดแรงตึงผิว จากนั้นใส่สปอร์ที่แขวนลอยในน้ำลงในเครื่องปั่นน้ำผลไม้เพื่อผสมให้เข้ากัน เมื่อนับความหนาแน่นของสปอร์โดยใช้ haemacytometer พบว่ามีจำนวนสปอร์ประมาณ 70 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รดสารแขวนลอยของสปอร์บริเวณใกล้รากของกล้ายางนาที่เตรียมไว้ โดยใส่ลงในรูที่เจาะไว้ใกล้ ๆ กับโคนต้น เพื่อให้สปอร์มีโอกาสสัมผัสรากมากที่สุด ซึ่งแต่ละทรีทเมนต์จะรดในปริมาณแตกต่างกัน คือ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น

การเตรียมเส้นใยบริสุทธิ์ ทำโดยการแยกเส้นใยของเห็ดเผาะหนังจากเนื้อเยื่อภายในดอกเห็ด นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 สัปดาห์ เส้นใยเห็ดเผาะหนังจะเจริญเต็มจานเลี้ยงเชื้อ จากนั้นตัดชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเจริญอยู่บริเวณขอบของโคโลนีด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ไปเลี้ยงในอาหารเหลว Potato Dextrose Broth (PDB) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง 4 สัปดาห์ เส้นใยเห็ดเผาะหนังจะเจริญอยู่บนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อปลูกเชื้อได้นำเส้นใยบริสุทธิ์ของเห็ดเผาะหนังออกมาจากขวดอาหารเหลว ล้างด้วยน้ำที่นึ่งฆ่าเชื้อ 3-4 ครั้ง เพื่อชะล้างอาหารเลี้ยงเชื้อที่ติดเส้นใยมาออกไป ใช้เส้นใยบริสุทธิ์ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้เป็นเวลา 20-30 วินาที เพื่อให้เส้นใยแตกหักออกจากกัน แล้วนำไปรดที่โคนต้นกล้า โดยใส่ลงในรูที่เจาะไว้ใกล้ ๆ กับโคนต้น ซึ่งรดในปริมาณ 25 มิลลิลิตรต่อต้น

หลังจากการปลูกเชื้อแล้ว ได้นำกล้าไม้ไปไว้ในเรือนเพาะชำที่เป็นเรือนกระจก โดยวางบนตะแกรงเหล็กที่ยกสูงจากพื้นดิน เพื่อให้น้ำที่ไหลออกจากถุงขณะที่รดต้นกล้าไหลลงสู่พื้นดินไม่เจิ่งนอง การรดน้ำใช้ถ้วยตวงน้ำให้มีปริมาตรเท่า ๆ กัน รดที่โคนต้นกล้าทุกวัน วันละ 1 ครั้ง

**3. การวัดการเติบโตของกล้าไม้ยางนา**

3.1 วัดความสูงด้วยเทปวัด (หน่วยเป็นเซนติเมตร) โดยวัดตั้งแต่โคนต้นตรงระดับคอรากจนถึงปลายยอดและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากด้วยดิจิตอลคาลิปเปอร์ (หน่วยเป็นเซนติเมตร) โดยเริ่มวัดครั้งแรกในวันที่ปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้หรือเมื่อกล้าไม้อายุ 1 เดือน แล้ววัดเดือนละ 1 ครั้งจนกล้าไม้มีอายุครบ 8 เดือน นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้น

3.2 เมื่อกล้าไม้มีอายุครบ 8 เดือน นำออกจากถุง ล้างรากให้สะอาดปราศจากดินและเศษซากอื่น ๆ อย่างระมัดระวังอย่าให้รากขาด โดยใช้เครื่อง ultrasonic water bath กล้องจุลทรรศน์แบบ dissecting microscope และปากคีบช่วย แล้วตัดแยกส่วนยอดและรากออกจากกัน นำรากที่ล้างสะอาดแล้วมาตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด dissecting microscope เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานของราก แล้วสุ่มเลือกตัวอย่างรากมาตัดตามขวางให้เป็นชิ้นบาง ขนาดความหนา 15 ไมโครเมตร โดยใช้ freezing microtome เพื่อตรวจลักษณะทางกายวิภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope

3.3 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนา ทำโดยสุ่มรากที่ล้างสะอาดแล้ว 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรากสด ตัดเป็นท่อนสั้น ๆ ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร วางเรียงให้กระจายอย่างสม่ำเสมอไม่ซ้อนทับกันในจานเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำอยู่เล็กน้อย และที่ก้นจานเลี้ยงเชื้อมีช่องตารางสี่เหลี่ยมขีดไว้เต็มพื้นที่ โดย 1 ช่องมีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร นับจำนวนรากที่มีและไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาที่พาดอยู่บนเส้นทั้งตามขวางและตามยาวของตาราง จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา (Brundrett *et al.*, 1996)

3.4 การหาพื้นที่ผิวรากของกล้าไม้ยางนา ทำโดยนำรากที่ล้างสะอาดแล้วทั้งหมดของแต่ละต้น ตัดเป็นท่อนสั้น ๆ แล้วนำไปลอยในน้ำที่ใส่อยู่ในถาดกระจก โดยเรียงให้กระจายไม่

ซ้อนทับกัน วางถาดกระจกบนเครื่อง scanner เพื่อ scan ภาพของราก จากนั้นนำภาพที่ scan ได้ไป คำนวณหาพื้นที่ผิวรากด้วยโปรแกรม Dt-scan

3.5 ชั่งน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินและน้ำหนักแห้งส่วนรากของกล้าไม้แต่ละต้น หลังจากนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ และหาอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนราก (shoot/root) ของกล้าไม้

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการเติบโตของกล้าไม้

เนื่องจากไม่ทราบน้ำหนักส่วนยอดและส่วนราก รวมทั้งพื้นที่ผิวรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 1 เดือนจึงสุ่มกล้าไม้ 10 ต้น ที่เป็นตัวแทนของช่วงชั้นเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก ไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนยอดกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับความสูง (H) ของกล้าไม้อายุ 8 เดือน และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนรากกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับความสูง (H) ของกล้าไม้อายุ 8 เดือน ซึ่งสองสมการนี้อยู่ในรูป

$$y = ax^h$$

หรือ $$\log y = \log a + h \log x$$

เมื่อ y คือ น้ำหนักแห้งส่วนยอดหรือน้ำหนักแห้งส่วนราก

x คือ ผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับ ความสูง (H)

A และ h คือ ค่าคงที่ของสมการ

สำหรับการหาพื้นที่ผิวรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 1 เดือนได้สุ่มกล้าไม้ 10 ต้น ที่เป็นตัวแทนของช่วงชั้นน้ำหนักแห้งส่วนราก ไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนรากกับพื้นที่ผิวรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือน ซึ่งสมการนี้อยู่ในรูป

$$y = ax+b$$

เมื่อ y คือ พื้นที่ผิวราก

x คือ น้ำหนักแห้งส่วนราก

นำสมการทั้งสามนี้ไปคำนวณหาน้ำหนักแห้งส่วนยอด น้ำหนักแห้งส่วนรากและพื้นที่ผิวรากเมื่อเริ่มต้นการทดลอง แล้วคำนวณหาส่วนที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

นำค่าเฉลี่ยการเติบโตที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา พื้นที่ผิวราก น้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดิน น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนักแห้งรวม และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือน ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's new multiple range test ($P$<0.05)

**4. การศึกษาการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา**

ทำการวัดการคายน้ำ ซึ่งก็คือ ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ และวัดค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนาดังต่อไปนี้

4.1 การวัดปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้

กล้าไม้ที่นำมาศึกษามีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับกล้าไม้ที่ใช้ศึกษาการเติบโตทุกประการ ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 6 ต้น รวมทั้งสิ้น 30 ต้น นำกล้าไม้ดังกล่าวย้ายจากถุงพลาสติกลงในกระถางพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว แล้วเติมดินที่เตรียมไว้ในข้อ 1.1 จนเต็มกระถาง จากนั้นนำพลาสติกสีดำและแผ่นโฟมที่มีขนาดเท่ากับปากกระถาง และเจาะรูตรงกลาง ขนาดเท่ากับลำต้นของกล้าไม้ยางนา ปิดปากกระถางและใช้เทปพันรอบปากกระถางให้มิดชิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำทางผิวดิน น้ำจะสามารถระเหยออกทางปากใบได้เท่านั้น แบ่งกล้าไม้แต่ละทรีทเมนต์ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนั้นแต่ละกลุ่มจึงมีกล้าไม้ 15 ต้น ทรีทเมนต์ละ 3 ต้น

เพื่อให้ทราบปริมาณน้ำที่พืชใช้ต่อวัน เริ่มต้นศึกษาด้วยการให้น้ำแก่กล้าไม้ทุกต้นของทั้ง 2 กลุ่มจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (มีน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งดูได้จากเมื่อให้น้ำแล้ว มีน้ำไหลออกจากกระถาง ทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน ก่อนหน้าของเช้าวันที่จะชั่งหาน้ำหนักน้ำที่พืชใช้ต่อวัน ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักน้ำที่คายออกทางปากใบ ได้ให้น้ำให้แก่กล้าไม้ทีละน้อยเพื่อไม่ให้น้ำล้นออกจากกระถาง สภาพนี้คือ สภาพที่ถือว่าดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักของแต่ละกระถางที่มีกล้าไม้อยู่ โดยต้องปิดปากกระถางให้มิดชิดด้วย ในเช้าวันต่อมา (ครบ 24 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักกระถางเดิมนั้นอีก เพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักของน้ำที่กล้าไม้คายออกไป ซึ่งก็คือ น้ำหนักน้ำที่พืชใช้ต่อวันเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนั้นเมื่อต้องการให้น้ำให้แก่กล้าไม้เพียง 50 หรือ 25 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถคำนวณปริมาณน้ำที่จะใช้ได้ จากตัวเลขปริมาณน้ำที่ให้แก่กล้าไม้ 100 เปอร์เซ็นต์นี้

กล้าไม้กลุ่มที่หนึ่ง ให้น้ำอย่างเต็มที่แก่กล้าไม้ เท่ากับปริมาณน้ำที่พืชใช้ต่อวัน (100 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 17 วัน ส่วนกล้าไม้กลุ่มที่สองค่อย ๆ ลดการให้น้ำ โดยให้น้ำแก่กล้าไม้ 100, 50, 25 เปอร์เซ็นต์ และไม่ให้น้ำเลย เป็นเวลา 4, 3, 3 และ 4 วัน ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงให้น้ำแก่กล้าไม้อย่างเต็มที่อีกครั้งหนึ่ง เป็นเวลา 3 วัน วางกล้าไม้ทั้งหมดไว้กลางแจ้ง บนดาดฟ้า ตึกวนศาสตร์ 60 ปี วัดปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ต่อวัน โดยชั่งหาน้ำหนักน้ำที่หายไปในแต่ละวัน

4.2 การวัดค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้

สำหรับกล้าไม้กลุ่มที่หนึ่ง ในวันที่ 3 ของการรดน้ำให้แก่กล้าไม้อย่างเต็มที่ ได้ทำการวัดค่าชักนำการเปิดปากใบของใบยางนา จำนวน 6 ใบ โดยเลือกวัดใบที่นับจากปลายยอดลงมา ใบที่ 2-7 ด้วยเครื่อง Steady State Porometer (Li-1600) การวัดกระทำทุก 2 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 9.00 -17.00 น. กล้าไม้กลุ่มนี้ได้ทำการวัดค่าชักการเปิดปากใบอีก พร้อม ๆ กับที่มีการวัดค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้กลุ่มที่สอง

กล้าไม้กลุ่มที่สอง ทำการวัดค่าชักนำการเปิดปากใบในวันที่ 4, 3, 3, 4 และ 1 ของการให้น้ำ 100, 50, 25, 0 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเลือกวัด 2 ช่วงเวลาที่ปากใบของกล้าไม้ยังเปิดอยู่ จากผลการศึกษาค่าชักการเปิดปากใบในรอบวันของกล้าไม้กลุ่มที่หนึ่ง

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา

นำตัวเลขปริมาณการใช้น้ำต่อวันของกล้าไม้แต่ละต้น (หน่วยเป็น กรัม/วัน) มาคำนวณให้เป็นปริมาณการใช้น้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวใบ (หน่วยเป็น มิลลิเมตร/วัน) สำหรับพื้นที่ผิวใบของกล้าไม้แต่ละต้น ทราบได้จากการนำใบทั้งหมดไปหาพื้นที่ผิวใบด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ผิวใบ นำค่าปริมาณการใช้น้ำในช่วงเวลาที่มีการให้น้ำระดับเดียวกัน ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (repeated measures) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's new multiple range test ($P$<0.05)

นำค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้กลุ่มที่หนึ่ง ที่ได้วัดไว้ 2 ช่วงเวลาต่อวัน ทั้งหมด 5 วัน ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's new multiple range test ($P$<0.05) ส่วนค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้กลุ่มที่สอง ทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's new multiple range test ($P$<0.05) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ได้แยกวิเคราะห์แต่ละระดับของการให้น้ำ และแต่ละช่วงเวลา

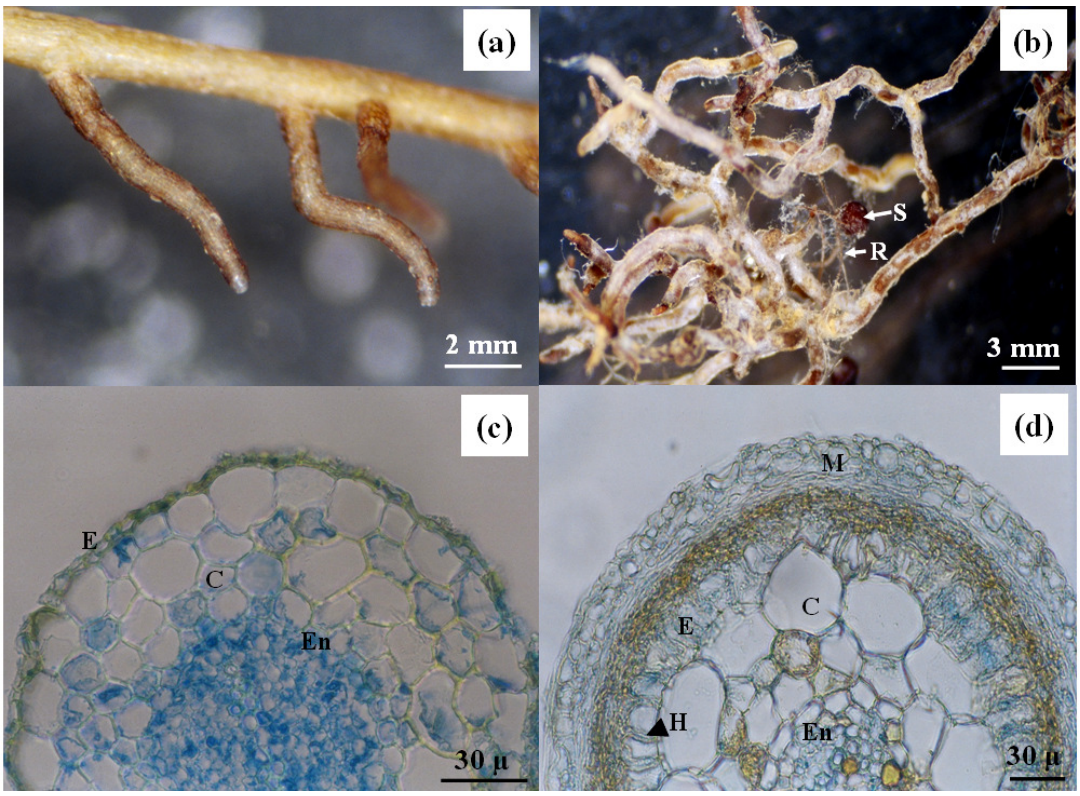
# ผลและวิจารณ์

## 1. การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนา

### 1.1 ลักษณะทางสัณฐานและกายวิภาค

รากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือนมีลักษณะทางสัณฐาน ดังนี้ คือ รากแขนงเรียวเล็ก มีการแตกแขนงย่อยน้อยมาก ผิวรากเรียบ สีน้ำตาลอ่อนและไม่มีเส้นใยของราพันอยู่เลย ดังแสดงในภาพที่ 1(a) ส่วนลักษณะทางสัณฐานของรากที่มีเอคโตไมคอร์ไรซานั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยจากการสุ่มตรวจรากของกล้าไม้อายุ 4 เดือนที่ปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังมีรากเอคโตไมคอร์ไรซาเกิดขึ้นแล้ว เมื่อกล้าไม้ยางนามีอายุ 7 เดือน พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น จำนวน 2 ต้น มีดอกเห็ดเผาะหนังเกิดขึ้นบนผิวดินใกล้ ๆ กับโคนต้น ดอกเห็ดเผาะหนังมีรูปร่างแบบทรงกลม ขนาดเล็กมาก คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1.5 เซนติเมตร แต่มีลักษณะอื่น ๆ ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น สี การแตกของดอกเห็ดเป็นรูปดาว จำนวน 7-8 แฉก และลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ได้แก่ เส้นใยในชั้นของผนังชั้นนอก (exoperidium) เป็นเซลล์ pseudoparenchyma รูปร่างและขนาดของสปอร์ที่ตรวจด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ดังแสดงในภาพที่ 2 เหมือนกับเห็ดเผาะหนังที่รายงานโดย Petcharat (2005) และ Phosri *et al.* (2004)

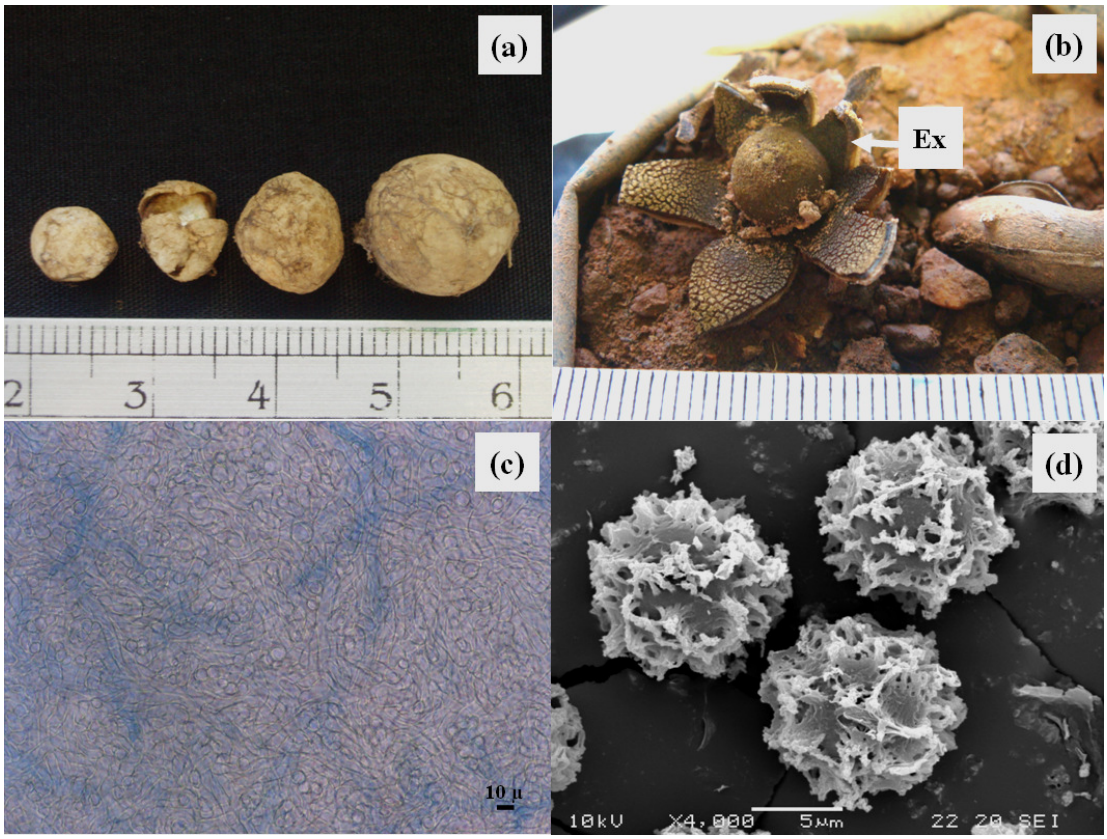
รากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้อายุครบ 8 เดือน ที่เกิดขึ้นมีลักษณะทางสัณฐานดังนี้ รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยใหญ่กว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา 1-1.5 เท่า รากแขนงมีการแตกเป็นแขนงย่อย ๆ อย่างหนาแน่น โดยมีรูปแบบและความสั้น ยาวของแขนงย่อยไม่แน่นอน (irregular) สีน้ำตาลเข้มถึงน้ำตาลปนดำ ผิวเรียบและมีความแวววาว มีเส้นใยของราขนาดเล็กแผ่กระจายออกมาจากรากและ มี rhizomorph สีน้ำตาลอ่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100-150 ไมโครเมตร เจริญพันอยู่กับราก นอกจากนี้ยังพบเม็ด sclerotium รูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 มิลลิเมตร สีน้ำตาลปนดำถึงสีดำ ผิวเรียบเป็นมันจำนวนมากเกิดปนอยู่กับรากและ rhizomorph ดังแสดงในภาพที่ 1(b)




**ภาพที่ 1** ลักษณะทางสัณฐานของรากกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน (a) ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา (b) มีเอคโตไมคอร์ไรซา ลักษณะทางกายวิภาคของรากกล้าไม้ (c) ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา (d) มีเอคโตไมคอร์ไรซา (C = cortex; E = epidermis; En = endodermis; H = Hartig net; M = mantle sheath; R = rhizomorph; S = sclerotium)

ลักษณะทางกายวิภาคของรากกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือนที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา มีลักษณะดังนี้ คือ มีชั้นของเซลล์ผิวจำนวน 1 ชั้น ไม่พบแผ่นแมนเทิลและเส้นใยฮาร์ติกเน็ท ดังแสดงในภาพที่ 1(c) ส่วนรากกล้าไม้ที่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซามีลักษณะทางกายวิภาค ดังนี้ มีแผ่นแมนเทิลเจริญอยู่ล้อมรอบชั้นเซลล์ผิว แผ่นแมนเทิลประกอบด้วยเส้นใยใสไม่มีสีเรียงตัวกันแบบ pseudoparenchyma หนา 30-50 ไมโครเมตร โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นนอกหนา 20-30 ไมโครเมตร ประกอบด้วยเซลล์ขนาดใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-13 ไมโครเมตร เรียงตัวอย่างหลวม ๆ ส่วนชั้นในหนา 10-20 ไมโครเมตร ประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4 ไมโครเมตร และเรียงตัวติดกันแน่น เส้นใยฮาร์ติกเน็ทเป็นเส้นใยผนังบางเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ของชั้นเซลล์ผิว จำนวน 1 ชั้น ทำให้ชั้นเซลล์ผิวยืดยาวทางด้าน transverse หรือยืดยาว

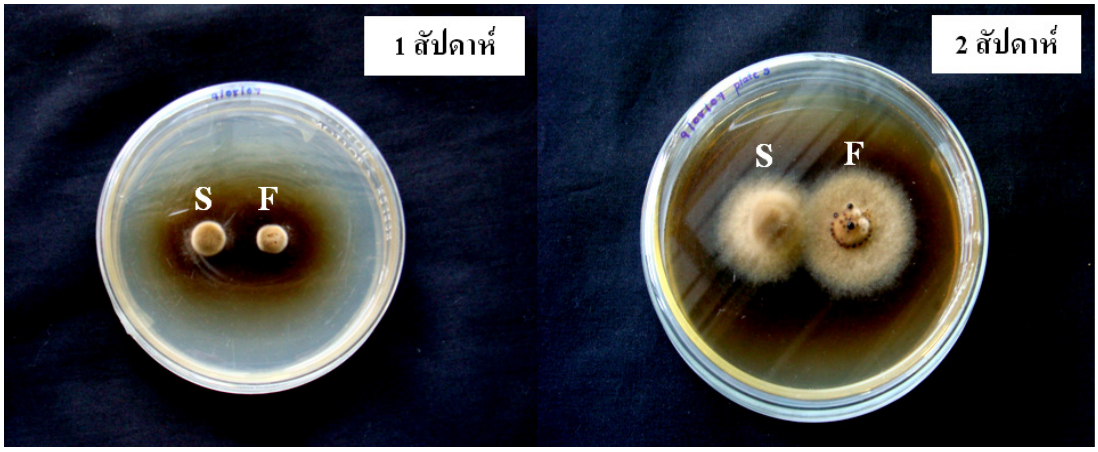
เข้าหาตรงกลางรากมากขึ้น เส้นใยฮาร์ติกเน็ทใสไม่มีสี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-0.9 ไมโครเมตร และไม่พบเส้นใยฮาร์ติกเน็ทในชั้นคอร์เทกซ์ของราก ดังแสดงในภาพที่ 1(d)




**ภาพที่ 2** (a) และ (b) คือดอกเห็ดเผาะหนังที่เกิดบริเวณโคนต้นกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อ Ex คือผนังชั้นนอกของ ดอกเห็ด (exoperidium) (c) คือเนื้อเยื่อชั้นในของ exoperidium และ (d) คือสปอร์ของเห็ดเผาะหนังภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Scanning Electron Microscope

เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่า sclerotium ดังกล่าวเป็น sclerotium ที่เกิดจากการอัดตัวกันแน่นเป็นก้อนของเส้นใยเห็ดเผาะหนัง ได้ใช้ปากคีบหนีบ sclerotium ออกมาจากระบบรากแล้วทำความสะอาดผิวของ sclerotium โดยแช่ในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 นาที แล้วล้างหลาย ๆ ครั้งด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อปริมาณ 2 ลิตร จากนั้นจึงนำไปวางบนอาหาร PDA หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ มีเส้นใยสีน้ำตาลเจริญออกมาจาก sclerotium และอาหารเลี้ยงเชื้อถูกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-4 ไมโครเมตรเช่นเดียวกับเส้นใยที่แยกได้จากดอกเห็ดเผาะหนัง จากนั้นได้นำเส้นใยที่เจริญจาก sclerotium กับเส้นใยที่แยกได้จากดอกเห็ดเผาะหนังมาเลี้ยงในจานเลี้ยงเชื้อเดียวกันโดยวางไว้คน

ละด้าน (ซ้าย-ขวา) ของจานเลี้ยงเชื้อ พบว่าเมื่อเส้นใยเจริญมาชนกันบริเวณกลางจานเลี้ยงเชื้อ เส้นใยจะเจริญกลืนกันจนไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นเส้นใยจากโคโลนีใด แสดงว่า sclerotium ที่เกิดขึ้นเป็น sclerotium ของเห็ดเผาะหนังอย่างแน่นอน (ภาพที่ 3)




**ภาพที่ 3** การเจริญของเส้นใยเห็ดเผาะหนัง S คือเส้นใยจากเม็ด sclerotium และ F คือเส้นใยจากดอกเห็ด

การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังภายในระยะเวลา 4 เดือน และการพบดอกเห็ดเผาะหนังขึ้นบนผิวดินใกล้โคนต้นกล้าไม้ยางนาที่มีอายุ 7 เดือน ของการศึกษาครั้งนี้นับว่าสั้นกว่าระยะเวลาการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา ในกล้าไม้ยางนาที่ปลูกด้วยเห็ดเผาะ (*Astraeus* spp.) ของวสันณ์ และคณะ (2548) ที่ใช้เวลานานถึง 2 ปี และไม่พบการเกิดดอกเห็ดที่โคนต้นกล้าเลย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของอายุกล้าไม้ยางนาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง วิธีการปลูกเห็ดเผาะให้แก่กล้าไม้ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยเฉพาะดิน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ดินที่ผ่านการรมควันด้วยเมทิลโบไมด์ เพื่อฆ่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินและเป็นดินที่ความอุดมสมบูรณ์ต่ำเหมาะสำหรับการปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาให้แก่กล้าไม้

รากเอคโตไมคอร์ไรซาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะทางสัณฐานแตกต่างจากรากเอคโตไมคอร์ไรซาของยางนาที่เกิดจากการปลูกเชื้อของเห็ดเผาะ (*A. hygrometricus*) ด้วยวิธี pure culture ectomycorrhizal synthesis ของทนุวงศ์ (2534) กล่าวคือ รากเอคโตไมคอร์ไรซาที่เกิดเป็นแบบไม่แตกแขนง (unramified) ส่วนปลายของรากแขนงขยายใหญ่เป็นรูปกระบอง แผ่น

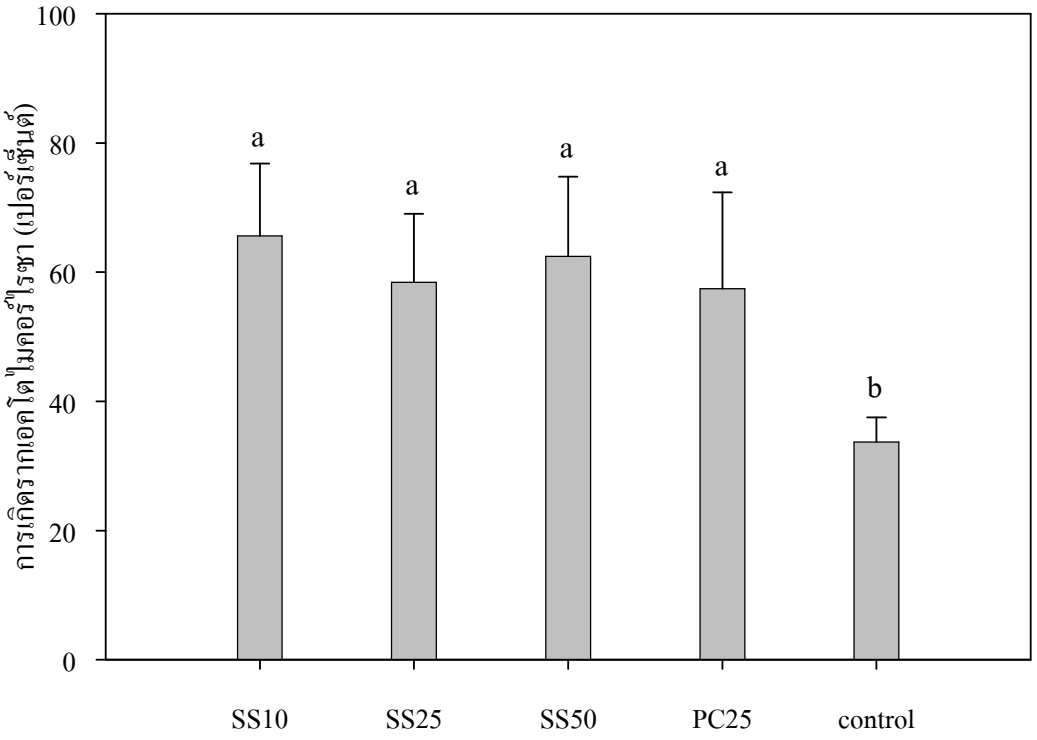
แมนเทิลหนา 20 ไมโครเมตร เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8-2 ไมโครเมตร เส้นใยฮาร์ติกเน็ทมีจำนวน 1-2 ชั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8-2 ไมโครเมตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรากเอคโต-ไมคอร์ไรซาที่เกิดจากวิธี pure culture ectomycorrhizal synthesis นั้น กล้าไม้ยางนาเจริญอยู่ภายในหลอดทดลองขนาด 3×30 เซนติเมตร ทำให้รากถูกจำกัดพื้นที่ในการแตกแขนง และภายในหลอดทดลองบรรจุด้วยเวอร์มิคูไลต์ (vermiculite) ขุยมะพร้าวและสารละลายของอาหาร Modified Melin Norkran agar (MMN) เมื่อเปรียบเทียบรากเอคโตไมคอร์ที่เกิดจากเห็ดเผาะในพืชต่างชนิดกันพบว่ารากเอคโตไมคอร์ไรซามีลักษณะทางสัณฐานและกายวิภาคต่างกัน จิตรตรา (2539) รายงานว่ารากเอคโตไมคอร์ไรซาของสนสามใบที่เกิดจากเห็ดเผาะ (*A. hygrometricus*) รากมีการแตกแขนงเป็นสองง่าม (dichotomous) หรืออาจไม่แตกแขนง แผ่นแมนเทิลค่อนข้างบางมาก มีเส้นใยฮาร์ติกเน็ทอยู่ระหว่างเซลล์ชั้นเซลล์ผิวและชั้นคอร์เทกซ์

1.2 เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ และกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา เท่ากับ 65.603, 58.437, 62.403, 57.428 และ 33.707 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05, F=6.060) โดยพบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง 4 วิธีแรกมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้ง 4 วิธีนี้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4)

การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนาที่ไม่ได้ปลูกเชื้อนั้น อาจเกิดจากตัวไรและแมลง ซึ่งพบในดินที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกสีดำที่ใช้ปลูกกล้าไม้ยางนา และกระแสลมพาสปอร์หรือเส้นใยของเห็ดเผาะหนังไปติดกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ ทั้งนี้ไม่น่าจะเกิดจากน้ำที่ใช้รดกล้าไม้ กระเซ็นพาสปอร์หรือเส้นใยไป เพราะการรดน้ำให้กล้าไม้สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้บีกเกอร์ใส่น้ำรดกล้าไม้ทีละต้น การกระเซ็นของน้ำจึงเกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย อีกทั้งกล้าไม้ยังวางบนตะแกรงเหล็กที่ยกสูงจากพื้นดิน ดังนั้นน้ำที่รดกล้าไม้จะไหลออกจากถุงลงพื้นดินไม่ไหลนองพื้น ปัญหาการปนเปื้อนนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการศึกษาของธีรวัฒน์ (2533) ซึ่งพบว่า

ทรีทเมนต์ที่ไม่ปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาเกิดการปนเปื้อนของราเอคโตไมคอร์ไรซาถึง 43.30 เปอร์เซ็นต์ และยังเกิดขึ้นกับการศึกษาของ Turjaman *et al*. (2005) กล่าวคือทรีทเมนต์ที่ไม่ปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาเกิดการปนเปื้อนจากราเอคโตไมคอร์ไรซาชนิดอื่น 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งสองการศึกษานี้ให้เหตุผลว่าเกิดจากน้ำที่ใช้รดต้นไม้กระเซ็นพาไป แมลงและกระแสลมช่วยพัดพาสปอร์ให้ฟุ้งกระจายไปทำให้เกิดการปนเปื้อนได้กว้างไกล




**ภาพที่ 4** เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์

**หมายเหตุ**: ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแท่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05)

**ตารางที่ 2** เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา การเติบโตที่เพิ่มขึ้นด้านต่าง ๆ และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือนที่ปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการแตกต่างกัน 5 ทรีทเมนต์

| ผลการศึกษา | สารแขวนลอยสปอร์ 10 มล./ต้น | สารแขวนลอยสปอร์ 25 มล./ต้น | สารแขวนลอยสปอร์ 50 มล./ต้น | เส้นใยบริสุทธิ์ | ไม่ปลูกเห็ดเผาะหนัง |
|---|---|---|---|---|---|
| เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาที่เพิ่มขึ้น | 65.603 [a] | 58.437 [a] | 62.403 [a] | 57.428 [a] | 33.707 [b] |
| ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร) | 18.917 [a] | 19.450 [a] | 16.600 [ab] | 14.317 [b] | 13.600 [b] |
| เส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร) | 4.193 [ab] | 4.611 [a] | 4.217 [ab] | 4.657 [a] | 3.712 [b] |
| น้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 2.527 [ns] | 3.464 [ns] | 3.086 [ns] | 3.089 [ns] | 2.078 [ns] |
| น้ำหนักแห้งส่วนรากที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 1.461 [ab] | 2.007 [a] | 1.820 [a] | 1.703 [ab] | 1.146 [b] |
| น้ำหนักแห้งรวมที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 3.988 [ns] | 5.471 [ns] | 4.907 [ns] | 4.793 [ns] | 3.225 [ns] |
| อัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนราก ของกล้าไม้อายุ 8 เดือน | 1.736 [ns] | 1.733 [ns] | 1.693 [ns] | 1.740 [ns] | 1.803 [ns] |
| พื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้น (ตารางเซนติเมตร) | 109.192 [ns] | 155.893 [ns] | 117.945 [ns] | 126.786 [ns] | 49.747 [ns] |

**หมายเหตุ**: ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันภายในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**2. การเติบโตของกล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนัง**

2.1 ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้น

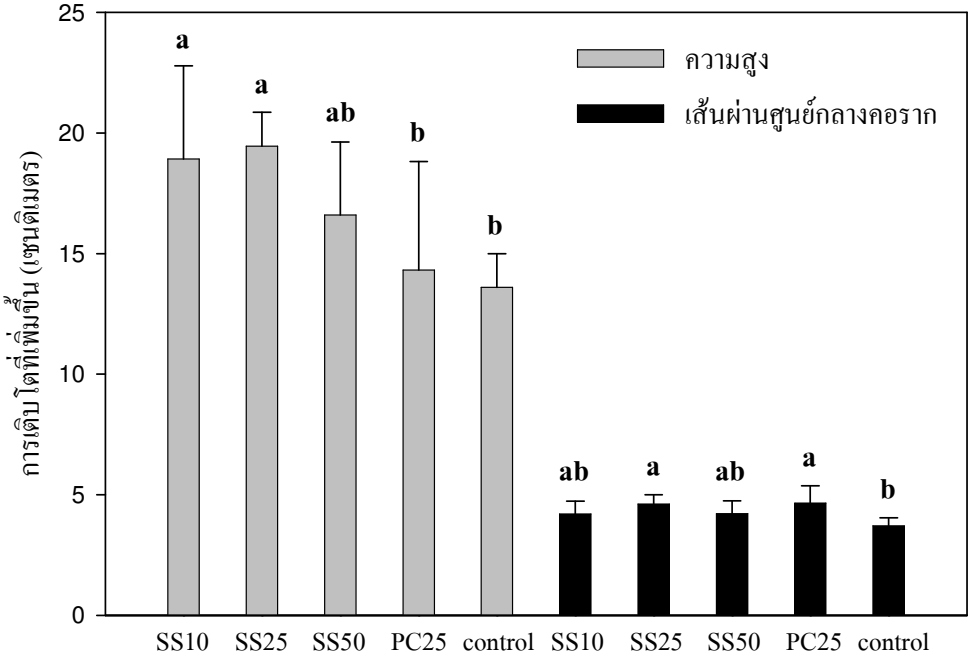
กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีความสูงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 18.917, 19.450, 16.600, 14.317 และ 13.600 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.193, 4.611, 4.217, 4.657 และ 3.712 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นทางความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05, F=4.305 และ F=2.742 ตามลำดับ) โดยพบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น มีความสูงที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10 มิลลิลิตรต่อต้น แต่ทั้ง 2 วิธีการปลูกเชื้อนี้กล้าไม้มีความสูงที่เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (ภาพที่ 5)

สำหรับการเติบโตที่เพิ่มขึ้นทางเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากนั้น พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น แต่ทั้ง 2 วิธีนี้กล้าไม้มีเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 5) ดังนั้นมีเพียงกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้นเท่านั้นที่มีทั้งความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซา สอดคล้องกับการศึกษาของ Turjaman *et al.* (2005) กล่าวคือ *Pisolithus arhizus* และ *Scleroderma* sp. ช่วยเพิ่มการเติบโตทางความสูงและทางเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากให้กับกล้าไม้ *Shorea pinanga* และการศึกษาของ Chen *et al.* (2006b) ซึ่งพบว่า *Scleroderma* sp.ช่วยเพิ่มการเติบโตทางความสูงให้กับ *Eucalyptus urophylla* 19-50 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ Chen *et al.* (2006a) ได้รายงานว่า *S. albidum, S. areolatum* และ *S. cepa* ก็ช่วยเพิ่มการเติบโตทางความสูงของกล้าไม้ *E. globulus* และ *E. urophylla* 46 เปอร์เซ็นต์อีกด้วย



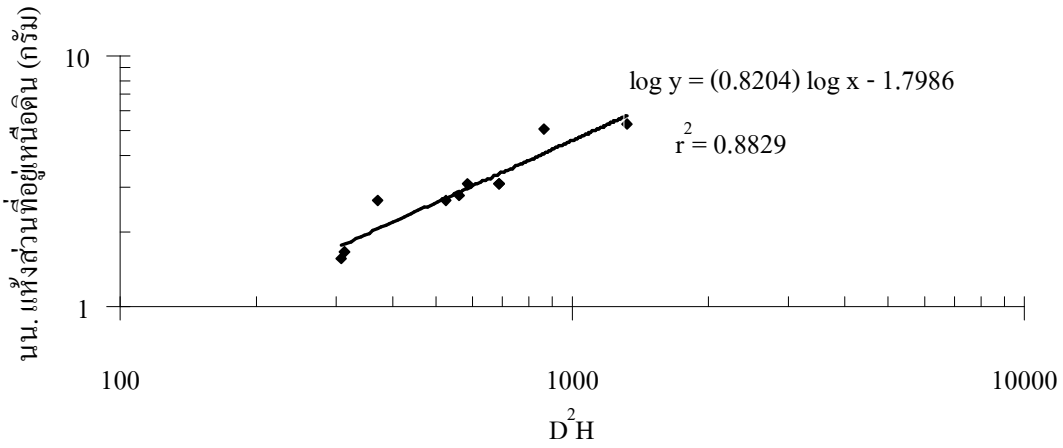

**ภาพที่ 5** ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

**หมายเหตุ**: ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแท่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05)

2.2 น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนา

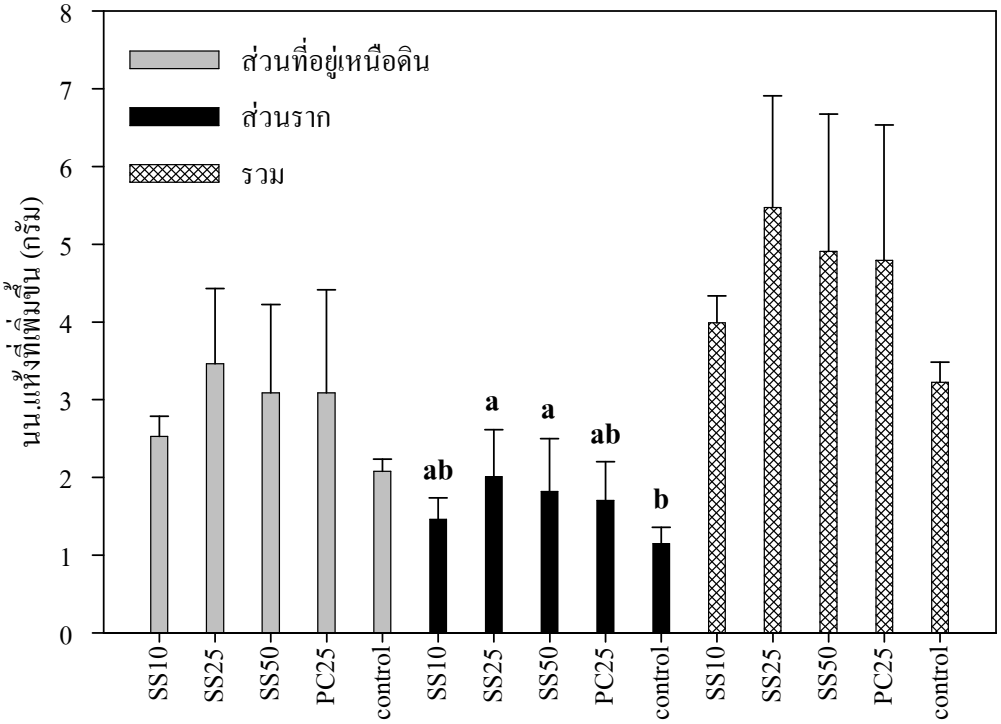
สมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสองกับความสูง ที่ใช้หาน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินของกล้าไม้อายุ 1 เดือน คือ $\log y = (0.8204) \log x - 1.7986$ หรือ $y = 0.0159x^{0.8204}$ ($r^2$=0.8829) ดังแสดงในภาพที่ 6 ประมาณค่าหาน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินเมื่อกล้าไม้อายุ 1 เดือนแล้วคำนวณหาค่าน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินที่เพิ่มขึ้น พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.527, 3.464, 3.086, 3.089 และ 2.078 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินที่เพิ่มขึ้นมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า

กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=2.194) แม้ว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น จะมีน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินที่เพิ่มขึ้นมากสุด แต่ยังไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีการปลูกเชื้อใด ๆ เลย (ตารางที่ 2 และภาพที่ 7)



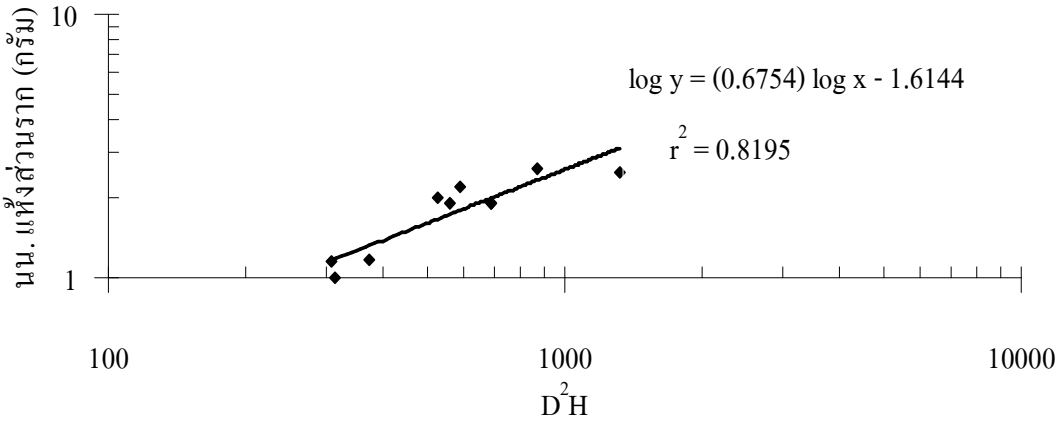

**ภาพที่ 6** สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับความสูง (H) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

สมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนรากกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสองกับความสูง ที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักแห้งส่วนรากเมื่อกล้าไม้อายุ 1 เดือน คือ log y = (0.6754) log x - 1.6144 หรือ $y = 0.0243x^{0.6754}$ ($r^2$=0.8195) ดังแสดงในภาพที่ 8 เมื่อประมาณหาน้ำหนักแห้งส่วนรากเมื่อกล้าไม้อายุ 1 เดือน แล้วคำนวณหาค่าน้ำหนักแห้งส่วนรากที่เพิ่มขึ้น พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีน้ำหนักแห้งส่วนรากที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.461, 2.007, 1.820, 1.703 และ 1.146 กรัม ตามลำดับ หลังจากนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีน้ำหนักแห้งส่วนรากที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05, F=2.788) แต่มีเพียงกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น เท่านั้นที่มีน้ำหนักแห้งส่วนรากที่เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 7)




**ภาพที่ 7** น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

**หมายเหตุ**: ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแท่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)




**ภาพที่ 8** สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนรากกับผลคูณของเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากยกกำลังสอง ($D^2$) กับความสูง (H) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

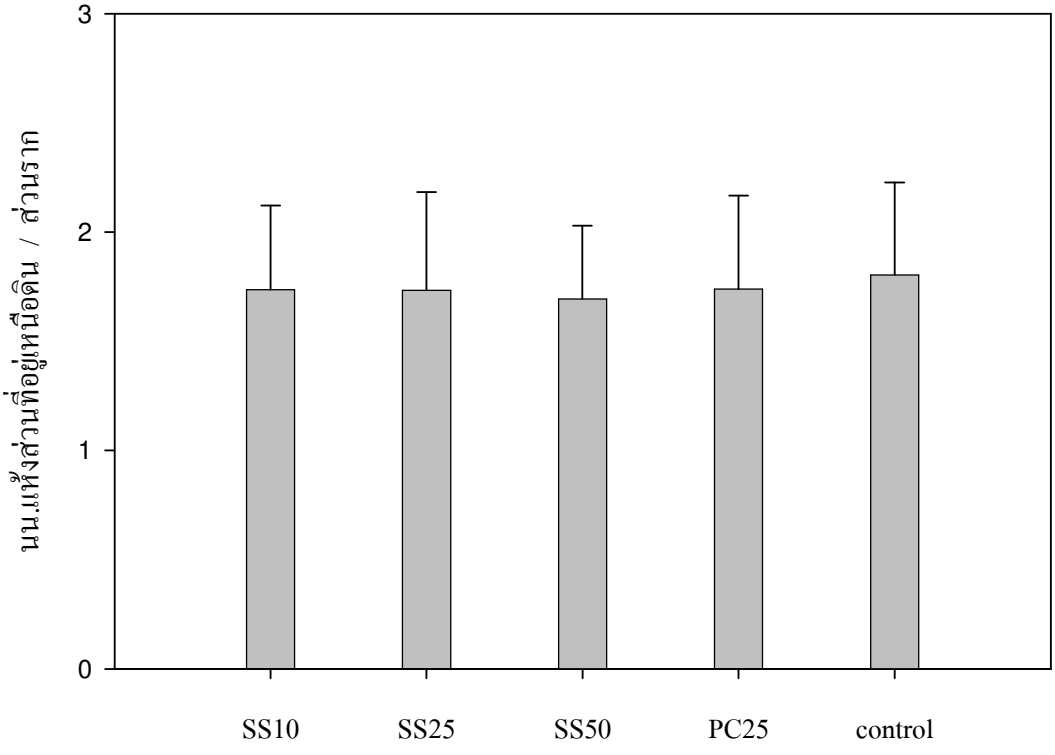
กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีน้ำหนักแห้งรวมที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.988, 5.471, 4.907, 4.793 และ 3.225 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำน้ำหนักแห้งรวมที่เพิ่มขึ้นมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ กันมีน้ำหนักแห้งรวมที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=2.741) แต่อย่างไรก็ตามกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น มีน้ำหนักแห้งรวมที่เพิ่มขึ้นมากสุด (ตารางที่ 2 และภาพที่ 7)

รากของกล้าไม้ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่จะแตกแขนงและมีขนาดเพิ่มขึ้น เป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากในการดูดน้ำและธาตุอาหาร กล้าไม้จึงมีมวลชีวภาพส่วนที่อยู่เหนือดินและมวลชีวภาพส่วนรากเพิ่มขึ้น (Marx and Barnett, 1974) จากการศึกษาน้ำหนักแห้งส่วนต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาที่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอตโตไมคอร์ไรซา พบว่ามีน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันในระหว่างทรีทเมนต์อย่างชัดเจน ยกเว้นน้ำหนักแห้งส่วนรากเท่านั้น ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาอื่นๆ ซึ่งพบว่าราเอคโตไมคอร์ไรซาช่วยให้น้ำหนักแห้งส่วนต่าง ๆ ของกล้าไม้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นตัวอย่างการศึกษาของ Chen *et al.* (2006a) ซึ่งพบว่า *Scleroderma* sp. ช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้งส่วนรากและน้ำหนักแห้งรวมให้กับกล้าไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus. urophylla*) 25-44 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Turjaman *et al.* (2005) ซึ่งรายงานว่าเมื่อปลูก *Pisolithus arhizus* และ *Scleroderma* sp. ให้กับกล้าไม้ *Shorea pinanga* พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกด้วยราทั้ง 2 ชนิดนี้มีน้ำหนักแห้งส่วนยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนราก เท่ากับ 1.736, 1.733, 1.693, 1.740 และ 1.803 ตามลำดับ เมื่อนำค่ามาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=0.088) แต่กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อทุกทรีทเมนต์มีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากต่ำกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง (ตารางที่ 2 และภาพที่ 9)

อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากนั้นเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ประเมินคุณภาพของกล้าไม้ ถ้ากล้าไม้มีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำจะมีอัตราการรอดตายสูงเมื่อนำไปปลูกในสวนป่าหรือพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม (ลดาวัลย์, 2536) กล้าไม้ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่จะมีมวลชีวภาพส่วนรากเพิ่มขึ้น ดังนั้นกล้าไม้จึงมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากต่ำกว่ากล้าไม้ที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ (Marx and Barnett, 1974) ราเอคโต-ไมคอร์ไรซาจึงช่วยเพิ่มอัตราการรอดตายให้กับกล้าไม้ได้ จากผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากของกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังจะค่อนข้างต่ำกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เพราะกล้าไม้ยางนาอาจยังมีอายุน้อย ผลการศึกษานี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับของทนุวงศ์ (2534) ซึ่งพบว่ากล้าไม้ยางนาที่ปลูกด้วยดินเชื้อและกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) แต่กล้าไม้ที่ปลูกด้วยดินเชื้อมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากต่ำกว่า

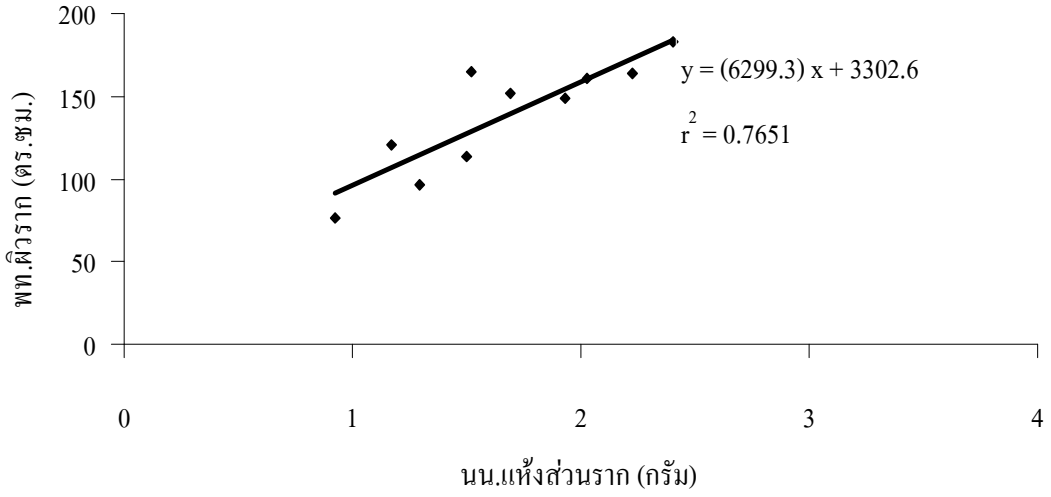



**ภาพที่ 9** อัตราส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

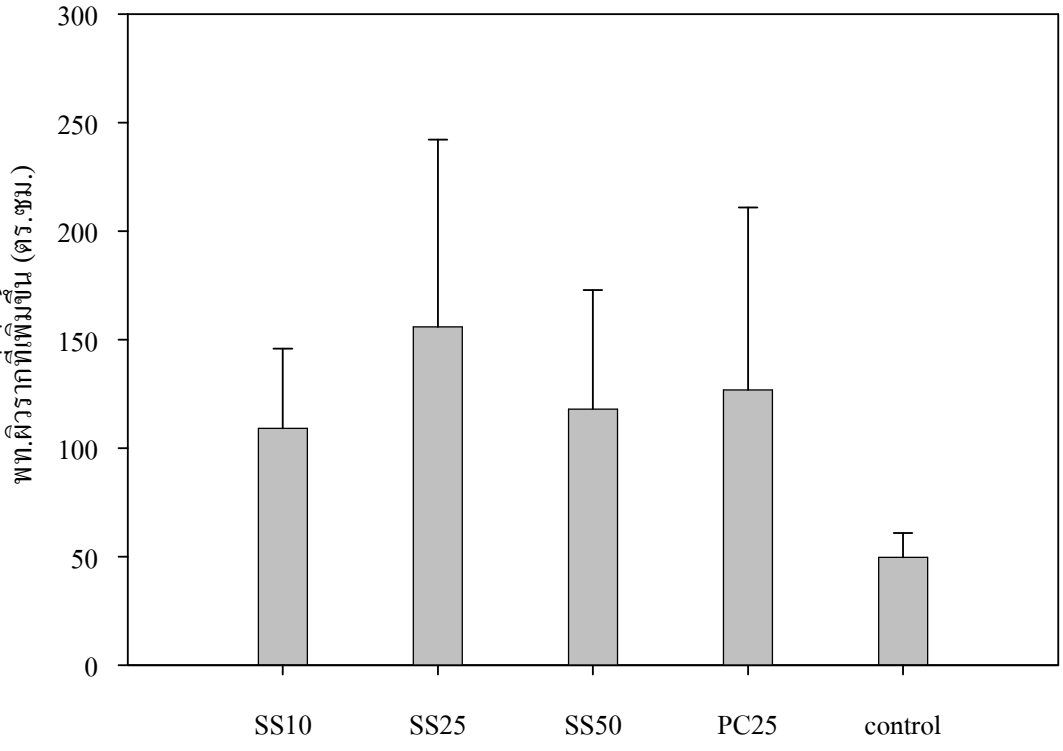
2.4 พื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนา

สมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวรากกับน้ำหนักแห้งส่วนรากที่ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ผิวรากเมื่อกล้าไม้อายุ 1 เดือน คือ $y = (6299.3)\ x + 3302.6$ ($r^2$=0.7651) (ภาพที่ 10) กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25 และ 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง มีพื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 109.192, 155.893, 126.786, 117.946 และ 49.747 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อนำพื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีพื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=2.397) อย่างไรก็ตาม กล้าไม้ทุกทรีทเมนต์ที่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังนั้น ยังมีพื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังถึง 1-2 เท่า โดยกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น จะมีพื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด การที่กล้าไม้ยางนาที่ปลูกเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีพื้นที่ผิวรากไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกล้าไม้ในแต่ละทรีทเมนต์มีพื้นผิวรากที่มีความผันแปรมาก (ตารางที่ 2 และภาพที่ 11)

โดยปกติราเอคโตไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่กับรากพืชจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากในการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุให้แก่พืช (Peterson *et al.*, 2004) ดังนั้นรากของกล้าไม้ยางนาที่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาจึงมีพื้นที่ผิวรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม่เหมือนกับการศึกษาของ Nardini *et al*. (2000) ซึ่งพบว่า หลังจากปลูกรา *Tuber melanosporum* ให้กับกล้าไม้ *Quercus ilex* L. เป็นระยะเวลา 2 ปี กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยราชนิดนี้มีเพิ่มพื้นที่ผิวรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลทำให้ความต้านทานของราก (root resistance) ต่ำกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกรา *Tuber melanosporum* 0.44 เท่า




**ภาพที่ 10** สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวรากกับน้ำหนักแห้งส่วนรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน




**ภาพที่ 11** พื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน

จากผลการศึกษาด้านการเติบโตของกล้าไม้ยางนาที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ากล้าไม้ทุกทรีทเมนต์ที่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นทางด้านต่าง ๆ และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน ผันแปรมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ อาจเนื่องจากความผันแปรทางด้านพันธุกรรมของกล้าไม้ยางนา และอาจเกิดจากการปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างยางนาแต่ละต้นกับเห็ดเผาะหนังที่มีความแตกต่างกันมาก

นอกจากนี้ยังพบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ในปริมาณมากขึ้นจาก 10 มิลลิลิตรต่อต้น เป็น 25 มิลลิลิตรต่อต้น กล้าไม้มีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นทางด้านต่าง ๆ และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือนเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยสปอร์เป็น 50 มิลลิลิตรต่อต้น กล้าไม้กลับมีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนดังกล่าวลดลง ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen *et al.* (2006a) ซึ่งพบว่าสารแขวนลอยสปอร์ของ *Scleroderma* spp. ยิ่งมีปริมาณความหนาแน่นยิ่งมาก ยิ่งทำให้กล้าไม้มีการเติบโตเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องจากถุงพลาสติกที่ใช้ปลูกกล้าไม้มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้รากไม่สามารถแผ่กระจาย เพื่อทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุได้ไกล

สำหรับการเปรียบเทียบวิธีการปลูกเชื้อของเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้ยางนาด้วย 2 วิธีการ คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์และปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์นั้น พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วย 2 วิธีการนี้ มีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นด้านต่าง ๆ และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินกับส่วนรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ในปริมาณต่าง ๆ กันนั้นยังให้ผลการศึกษาเช่นเดียวกันอีกด้วย ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Chen *et al.* (2006a) ซึ่งรายงานว่ากล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของ *Scleroderma* spp. ที่มีความหนาแน่นสูง ($10^6$-$10^8$ สปอร์ต่อต้น) จะมีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ อาจกล่าวได้ว่าไม่มีวิธีการปลูกเชื้อวิธีการใดที่เหมาะสมกับราหรือพืชชนิดใดชนิดหนึ่งอย่างตายตัว ขึ้นอยู่กับชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซาและชนิดพืชนั้น ๆ ด้วย

**3. การใช้น้ำของกล้าไม้ยางนา**

3.1 ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

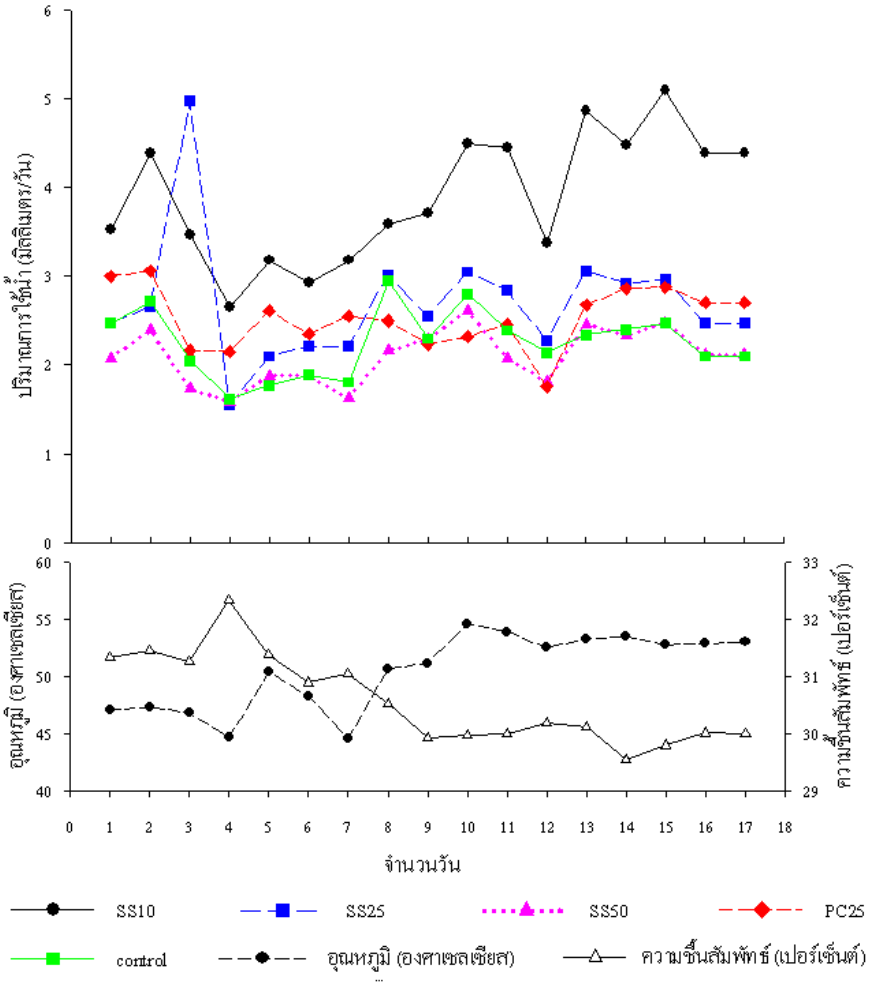
กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง มีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย เท่ากับ 3.92, 2.57, 2.12, 2.57 และ 2.27 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อนำปริมาณการใช้น้ำของแต่ละทรีทเมนต์มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำแล้ว พบว่ากล้าไม้มีปริมาณการใช้น้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=2.978) ถึงแม้จะสังเกตเห็นว่า กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10 มิลลิลิตรต่อต้น มีปริมาณการใช้น้ำที่ค่อนข้างสูงกว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยวิธีการอื่น ๆ และไม่ปลูกเชื้อก็ตาม (ภาพที่ 12)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้น้ำของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความชื้นในดิน เป็นต้น (สายัณห์, 2537; Kramer and Kozlowski, 1979) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการใช้น้ำในแต่ละวันผันแปรไปในลักษณะที่สอดคล้องกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง กล้าไม้ก็จะมีปริมาณการใช้น้ำมากขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนากับกล้าไม้ป่าชนิดอื่น ๆ ที่ ชมภูนุช (2531) ได้ศึกษาไว้ พบว่ากล้าไม้ยางนาทุกทรีทเมนต์มีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่ากล้าไม้ป่าชนิดอื่น ได้แก่ กล้าไม้ *Acacia auriculiformis* (1.97 มิลลิเมตรต่อวัน) *Acacia confusa* (1.54 มิลลิเมตรต่อวัน) *Aleurites montana* (1.49 มิลลิเมตรต่อวัน) *Liquidambar formosana* (1.01 มิลลิเมตรต่อวัน) *Melia azedarach* (1.84 มิลลิเมตรต่อวัน) และ *Zelkova formosana* (1.90 มิลลิเมตรต่อวัน) แต่กล้าไม้ยางนามีปริมาณการใช้น้ำต่ำกว่ากล้าไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) ซึ่งเป็นไม้โตเร็วและมีปริมาณการใช้น้ำสูง (4.78 มิลลิเมตรต่อวัน)

การศึกษาครั้งนี้กล้าไม้ยางนาที่มีเอคโตไมคอร์ไรซามีปริมาณการใช้น้ำไม่แตกต่างจากกล้าไม้ที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา อาจเนื่องมาจากกล้าไม้ได้รับน้ำอย่างเต็มที่ ไม่อยู่ภายใต้สภาวะเครียด จึงไม่แสดงประสิทธิภาพของความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซาที่ควรจะมี ถ้ากล้าไม้ที่มีและไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาอยู่ในสภาพที่ขาดน้ำ (drought condition) การใช้น้ำของกล้าไม้ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซาจะสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างมาก ดังเช่นการศึกษาของ Morte *et al.* (2000)

3.2 ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ เมื่อให้น้ำในปริมาณที่ลดลง

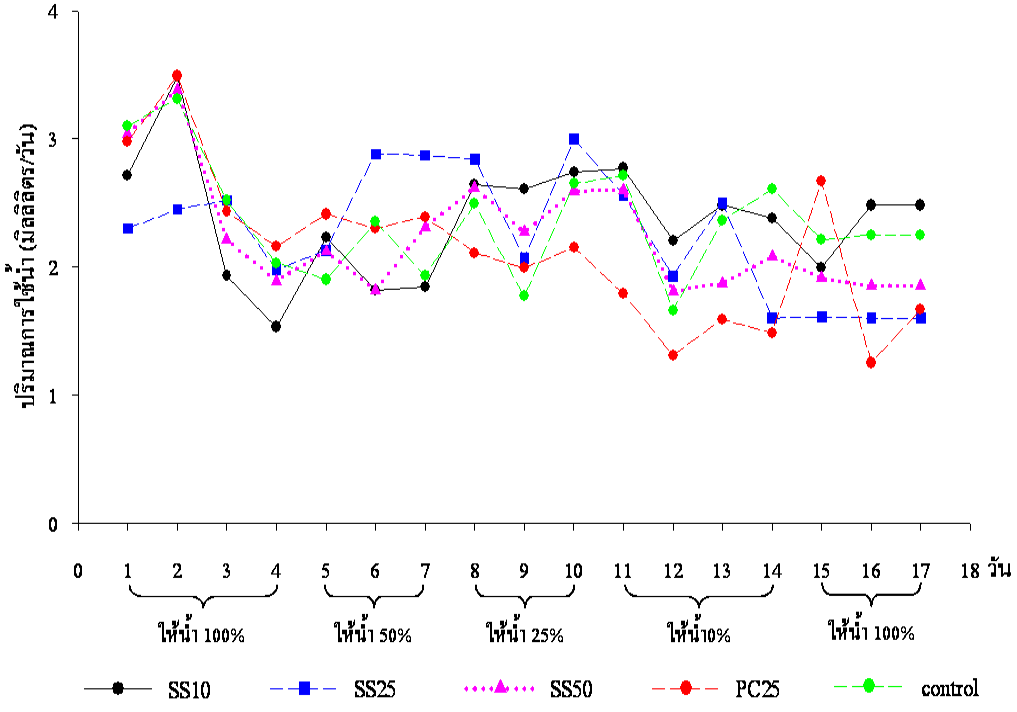
เมื่อให้น้ำแก่กล้าไม้เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 วัน กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย เท่ากับ 2.43, 2.31, 2.63, 2.77 และ 2.74 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อนำค่าปริมาณการใช้น้ำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำแล้ว พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีปริมาณการใช้น้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=0.754)




**ภาพที่ 12** ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 17 วัน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในวันเดียวกัน

เมื่อให้น้ำแก่กล้าไม้ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 วัน พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย เท่ากับ 1.97, 2.63, 2.08, 2.37 และ 2.06 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อนำค่าปริมาณการใช้น้ำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำแล้ว พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ มีปริมาณการใช้น้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=0.658)

ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้เมื่อลดการให้น้ำเหลือเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ และ 0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 และ 4 วัน ตามลำดับ ได้ผลการศึกษาเช่นเดียวกับการลดการให้น้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างทรีทเมนต์ ($P$>0.05) การทดลองไม่ให้น้ำแก่กล้าไม้ (0 เปอร์เซ็นต์) ต้องหยุดการศึกษา หลังจากไม่ให้น้ำเป็นเวลา 4 วัน เนื่องจากสังเกตพบว่าใบของกล้ายางนาเหี่ยวมาก และอาจร่วงจากต้นทั้งหมด เมื่อให้น้ำแก่กล้าไม้ 100 เปอร์เซ็นต์ อีกครั้งหนึ่ง พบว่ากล้าไม้ยางนาทุกทรีทเมนต์มีการฟื้นตัว และสังเกตเห็นว่าใบค่อย ๆ กลับสู่สภาพปกติ ภายในวันเดียว แต่กล้าไม้แต่ละทรีทเมนต์ยังคงมีปริมาณการใช้น้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=0.184) (ภาพที่ 13)

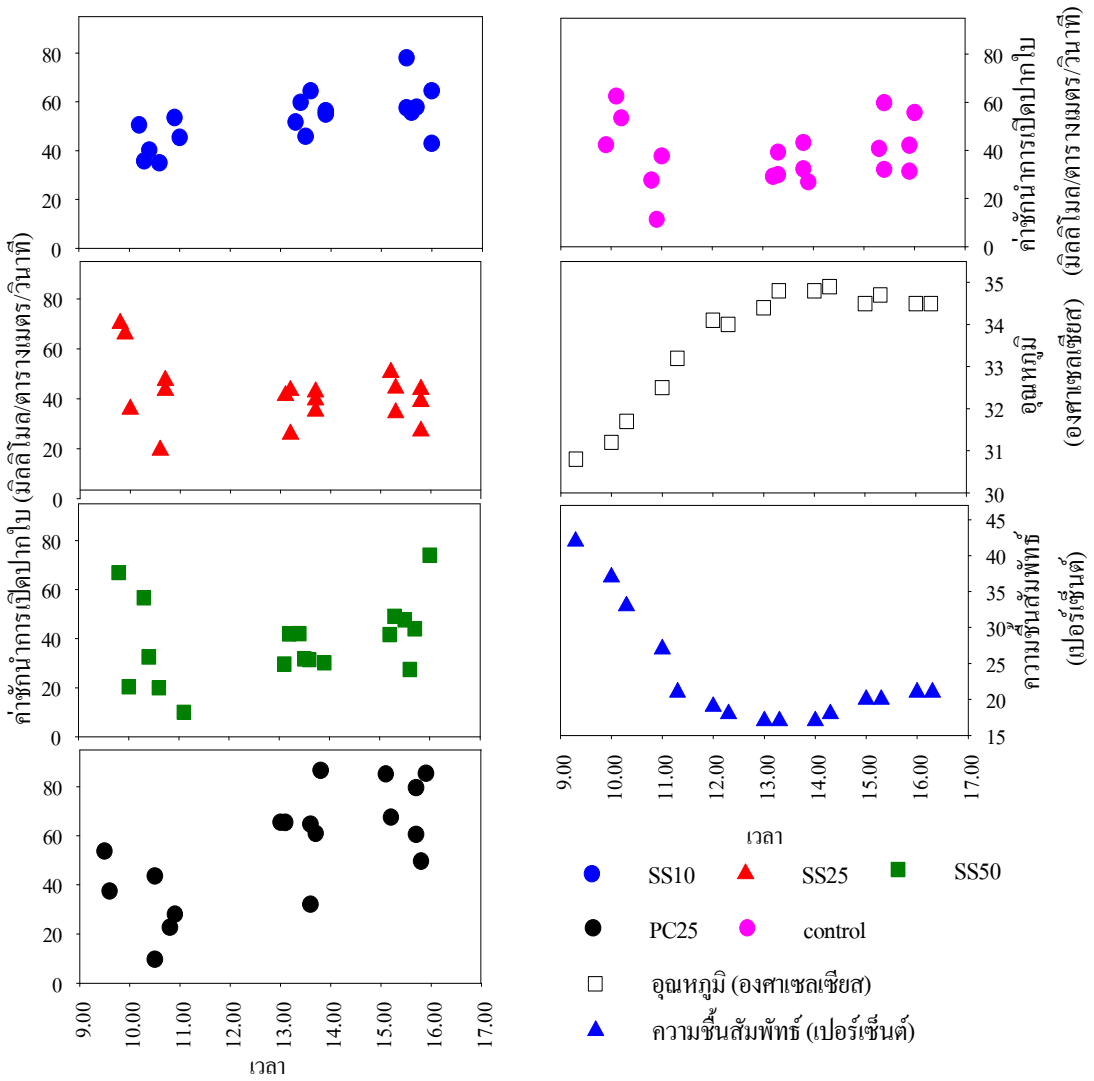



**ภาพที่ 13** ปริมาณการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำในระดับต่าง ๆ

ในการศึกษาครั้งนี้ กล้าไม้ยางนาที่มีเอคโตไมคอร์ไรซามีปริมาณการใช้น้ำที่ไม่แตกต่างจากกล้าไม้ที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ruíz-Lozano and Azcón (1995); Duan *et al.* (1996); Mason *et al.* (2000) และ Morte *et al.* (2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อกล้าไม้ยางนาอยู่ในสภาพที่ขาดน้ำ อาจเนื่องมาจากกล้าไม้ยางนาอยู่ภายใต้สภาวะที่ขาดน้ำหรือเครียด (drought stress) ไม่ยาวนานพอ งานทดลองของ Morte *et al.* (2000) ให้กล้าไม้ *Helianthemum almeriense* อยู่ในสภาวะเครียดเนื่องจากการขาดน้ำนานถึง 3 อาทิตย์ และ Lamhamedi *et al.* (1992) ใช้เวลาในการศึกษานาน 1-3 เดือน จึงสามารถเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกล้าไม้ที่มีและไม่มีราไมคอร์ไรซา แต่การทดลองครั้งนี้ สภาวะการขาดน้ำของกล้าไม้ยางนาเกิดขึ้นเพียง 4 วัน ซึ่งอาจสั้นเกินไป ทำให้ไม่สามารถเห็นประสิทธิภาพของเอคโตไมคอร์ไรซาได้ ทั้ง ๆ ที่เปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อ มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ การลดการให้น้ำแก่กล้าไม้ยางนาจาก 25 เปอร์เซ็นต์ มาที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นการลดระดับการให้น้ำที่เร็วเกินไป ทำให้กล้าไม้ยางนาปรับตัวไม่ทัน และไม่สามารถทนต่อสภาวะขาดน้ำได้ยาวนานกว่า 4 วัน ดังนั้นจึงควรค่อย ๆ ลดการให้น้ำแก่กล้าไม้ยางนา เช่น ลดการให้น้ำจาก 25 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10, 5 และ 0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อยืดระยะเวลาที่กล้าไม้ยางนาสามารถอยู่ในสภาวะขาดน้ำได้ยาวนานขึ้น อันอาจส่งผลให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างชัดเจนในเรื่องของการใช้น้ำ

3.3 การชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนา เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

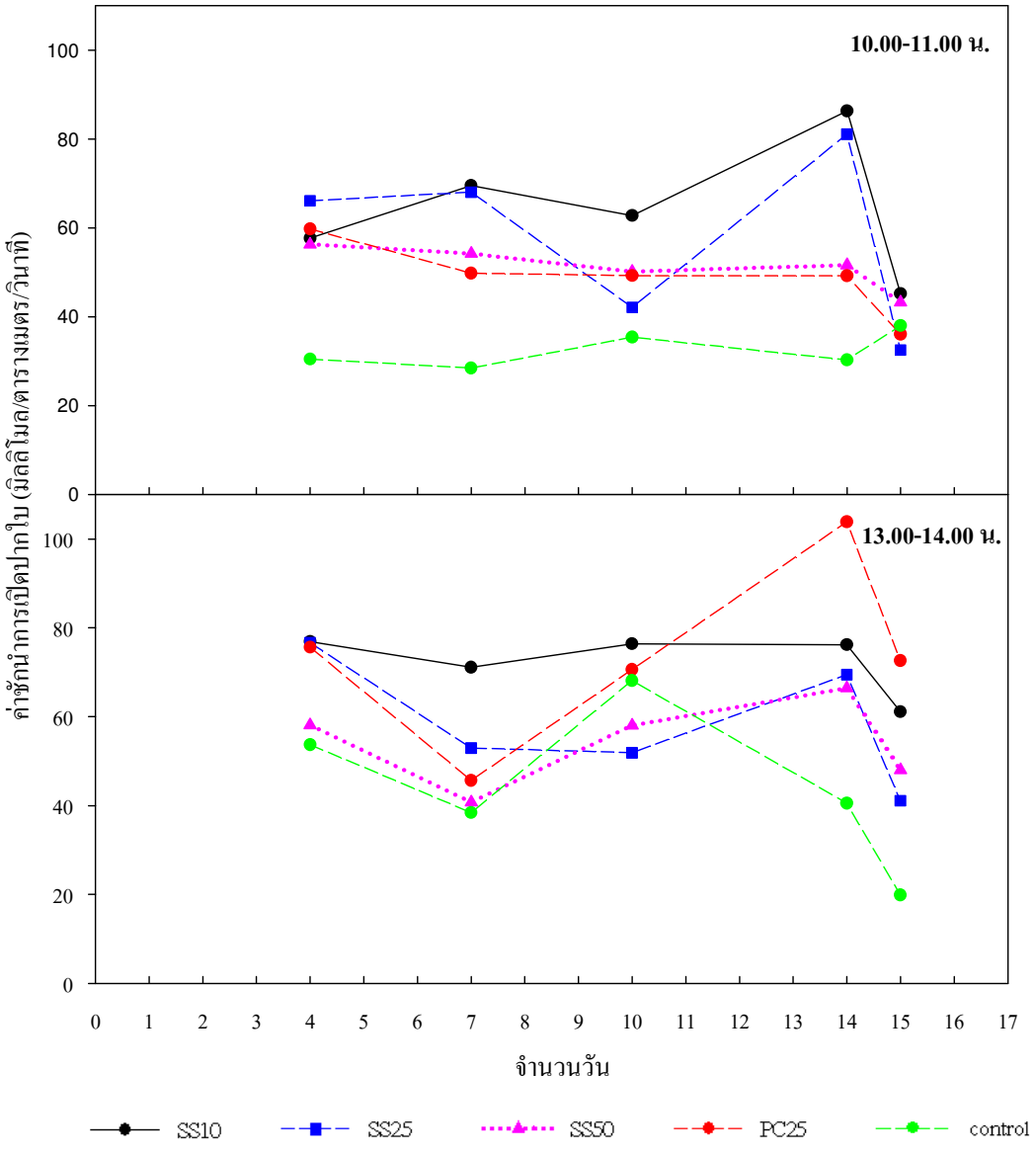
ผลการศึกษาค่าชักนำการเปิดปากใบในรอบวันของกล้าไม้ยางนา 5 ทรีทเมนต์ พบว่ากล้าไม้ทุกทรีทเมนต์มีค่าชักนำการเปิดปากใบในรอบวันที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าชักนำการเปิดปากใบ กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง กล้าไม้มีค่าชักนำการเปิดปากใบลดลง เพื่อปรับสมดุลของน้ำที่สูญเสียไปผ่านทางปากใบ เนื่องจากการคายน้ำ ทำให้กล้าไม้สามารถรักษาความเต่งของเซลล์ไว้ได้ (ภาพที่ 14)




**ภาพที่ 14** ค่าชักนำการเปิดปากใบในรอบวันของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในวันเดียวกัน

จากการวัดค่าชักนำการเปิดปากใบในรอบวันของกล้าไม้ยางนา ทำให้ทราบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับวัดค่าชักนำการเปิดปากใบ ในช่วงเช้า ได้แก่ เวลา 10.00-11.00 น. และในช่วงบ่าย ได้แก่ เวลา 13.00-14.00 น. ดังนั้นจึงใช้เวลาของช่วงเช้าและบ่ายนี้ในการวัดค่าชักนำการเปิดปากใบในกล้าไม้กลุ่มที่ให้น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ลดการให้น้ำ แต่ละระดับ ในช่วงเช้ากล้าไม้ยางนากลุ่มที่ให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง มีค่าชักนำการเปิดปากใบเฉลี่ย เท่ากับ 59.04, 58.55, 50.15, 45.24 และ 35.12 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที

ตามลำดับ ส่วนค่าชักนำการเปิดปากใบเฉลี่ยในช่วงบ่าย มีค่า เท่ากับ 69.77, 55.56, 55.65, 66.70 และ 41.99 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำค่าชักนำการเปิดปากใบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ พบว่ากล้าไม้แต่ละทรีทเมนต์มีค่าชักนำการเปิดปากใบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=3.126, F=7.349) (ภาพที่ 15) ถึงแม้จะสังเกตเห็นว่ากล้าไม้ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซามีค่าชักนำการเปิดปากใบสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาก็ตาม




**ภาพที่ 15** ค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาในเรื่องค่าชักนำการเปิดปากใบแตกต่างจากการศึกษาของ Nardini *et al.* (2000) ซึ่งพบว่ากล้าไม้ *Quercus ilex* L. ที่ปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา *Tuber melanosporum* มีค่าชักนำการเปิดปากใบสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ ทั้งนี้เนื่องจากรากพืชมีเส้นใยของราไมคอร์-ไรซาจำนวนมากที่ยื่นยาวและแผ่กระจายออกไปจากราก เพื่อช่วยดูดน้ำ เพิ่มการเคลื่อนที่ของน้ำในเซลล์พืช ทำให้ความต้านทานของราก (root resistance) ต่ำลง ส่งผลให้ค่าชักนำการเปิดปากใบสูงขึ้น (Richards, 1994)

3.4 ค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนา เมื่อให้น้ำในปริมาณที่ลดลง

เมื่อลดปริมาณการให้น้ำลงเรื่อย ๆ พบว่ากล้าไม้ยางนา 5 ทรีทเมนต์ มีค่าชักนำการเปิดปากใบในช่วงเช้าและช่วงบ่าย ลดลงอย่างต่อเนื่อง และกล้าไม้ยางนาเกือบทุกทรีทเมนต์ที่ปลูกเชื้อมีค่าชักนำการเปิดปากใบ ในเกือบทุกระดับของการให้น้ำ สูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ (ภาพที่ 16)

เมื่อให้น้ำเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง มีค่าชักนำการเปิดปากใบเฉลี่ยในช่วงเช้า เท่ากับ 54.10, 64.86, 57.74, 55.17 และ 42.87 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมีค่าชักนำการเปิดปากใบเฉลี่ยในช่วงบ่าย เท่ากับ 60.87, 57.22, 42.47, 66.47 และ 41.65 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแล้ว พบว่าค่าชักนำการเปิดปากใบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F= 1.369 และ F=1.719 ตามลำดับ)

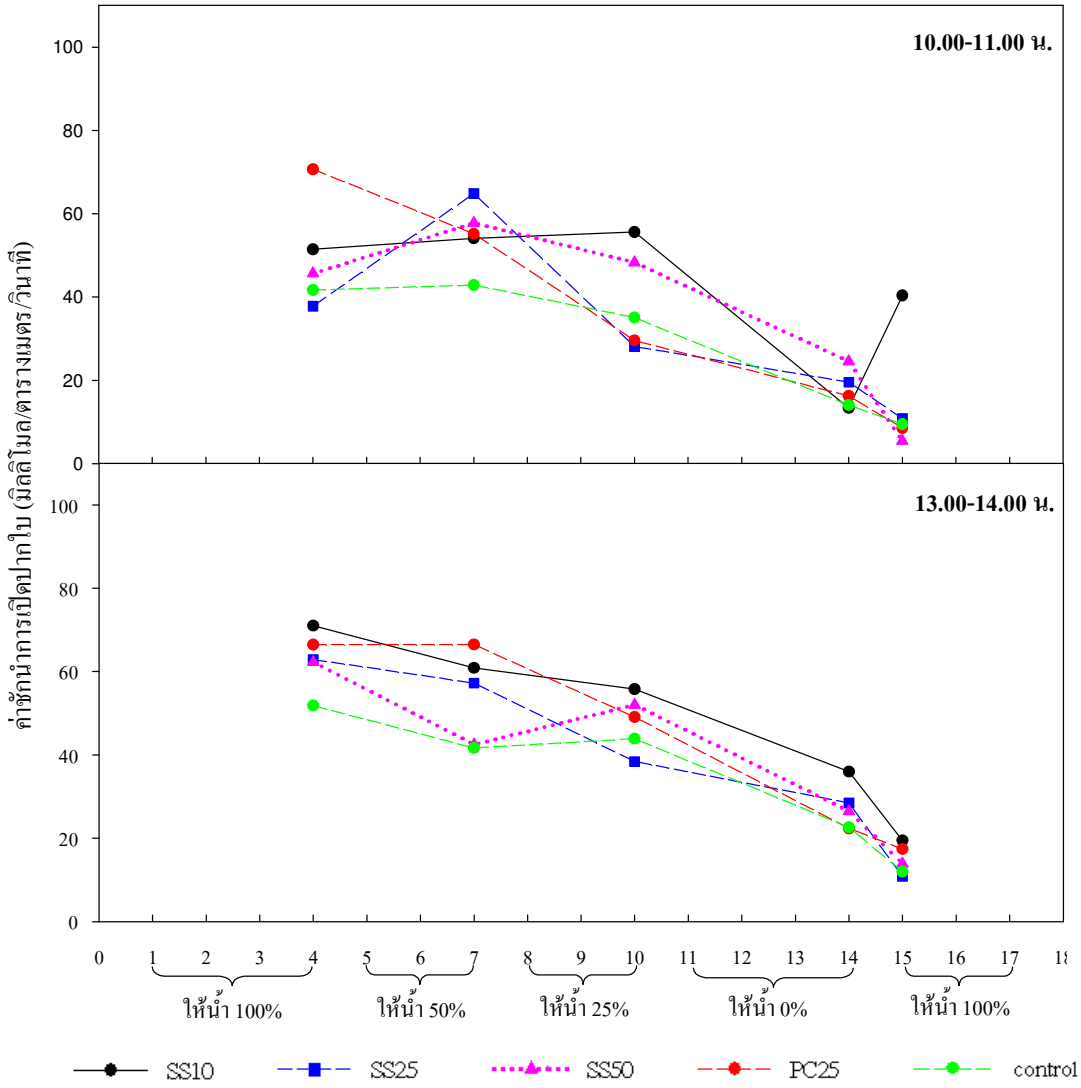
เมื่อลดปริมาณการให้น้ำลงเหลือเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์และไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง มีค่าชักนำการเปิดปากใบเฉลี่ยในช่วงเช้าดังนี้ คือ 55.60, 28.14, 48.30, 29.60 และ 35.09 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และในช่วงบ่ายค่าชักนำการเปิดปากใบเฉลี่ย เท่ากับ 55.76, 38.39, 51.99, 49.05 และ 43.87 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ หลังจากนำค่าชักนำการเปิดปากใบแต่ละทรีทเมนต์ทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=2.853 และ F=0.548 ตามลำดับ)

การวิเคราะห์ค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนา 5 ทรีทเมนต์ ที่ให้น้ำเท่ากับ 25 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 2 ช่วงเวลา ให้ผลเช่นเดียวกับการให้น้ำแก่กล้าไม้ 100 และ 50 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F=0.561 และ F=0.204 สำหรับการให้น้ำแก่กล้าไม้ 25 เปอร์เซ็นต์ ช่วงเช้าและช่วงบ่าย และ F= 6.370 และ F=0.191 สำหรับการให้น้ำแก่กล้าไม้ 0 เปอร์เซ็นต์ ช่วงเช้าและช่วงบ่าย ตามลำดับ)

เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ให้แก่กล้าไม้อีกครั้งหนึ่ง กล้าไม้ที่มีใบเหี่ยวเฉาและใกล้ร่วงจากสภาวะที่ขาดน้ำก่อนหน้านั้น มีการฟื้นตัวขึ้น แต่ยังคงมีค่าชักนำการเปิดปากใบที่ลดลง เมื่อนำค่าชักนำการเปิดปากใบแต่ละทรีทเมนต์ทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายไปวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05, F= 6.370 และ F=0.191 ตามลำดับ)

ผลการศึกษาที่พบว่าเมื่อลดการให้น้ำแก่กล้าไม้ยางนาแล้วกล้าไม้มีค่าชักนำการเปิดปากใบลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยหลายงานวิจัย ซึ่งรายงานว่าในสภาวะขาดน้ำ กล้าไม้มีการปรับตัว โดยการเปิดปากใบน้อยลง เพื่อลดการคายน้ำ รักษาความเต่งของเซลล์ และค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ภายในเซลล์ (สายัณห์, 2537; Thomas, 2000; Thomas and Gausling, 2000; Gieger and Thomas, 2002) แต่เมื่อให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์แก่กล้าไม้ยางนา หลังจากที่กล้าไม้ขาดน้ำมาระยะหนึ่ง กล้าไม้ยางนาเกือบทุกทรีทเมนต์มีค่าชักนำการเปิดปากใบลดลง ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Colom and Vazzana (2001) ที่รายงานว่ากล้าไม้มีค่าชักนำการเปิดปากใบสูงขึ้นหลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้อีกครั้ง หลังจากที่กล้าไม้นั้นอยู่ในสภาวะขาดน้ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการวัดค่าชักนำการเปิดปากใบในช่วงที่มีการให้น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์อีกครั้งหนึ่ง เป็นค่าที่มาจากการวัดเพียงครั้งเดียว และในวันแรก ถ้ามีการวัดซ้ำอีกในวันต่อ ๆ มา ค่าชักนำการเปิดปากใบของกล้าไม้ยางนาอาจสูงขึ้น เนื่องจากกล้าไม้มีการฟื้นตัวมากขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ไม่พบว่ากล้าไม้ยางนาที่มีและไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา มีค่าชักนำการเปิดปากใบที่แตกต่างกัน เมื่อกล้าไม้อยู่ในสภาวะขาดน้ำ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Mason *et al*. (2000) และ Morte *et al*. (2000) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระยะเวลาของการขาดน้ำแต่ละช่วงในการศึกษาครั้งนี้สั้นเพียง 3-4 วัน ในขณะที่การทดลองของ Morte *et al*. (2000) กล้าไม้ที่เขาใช้ศึกษา อยู่ภายใต้สภาวะที่ขาดน้ำนานถึง 3 อาทิตย์ ส่วนของ Lamhamedi *et al.* (1992) ใช้เวลาในการศึกษานาน 1-3 เดือน จึงเห็นความแตกต่างระหว่างกล้าไม้ที่มีและไม่มีไมคอร์ไรซาในเรื่องนี้




**ภาพที่ 16** ค่าชักนำการเปิดปากใบช่วงเช้า (10.00-11.00 น.) และช่วงบ่าย (13.00-14.00 น.) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน 5 ทรีทเมนต์ เมื่อให้น้ำในระดับต่าง ๆ

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุป

การศึกษาการเติบโตและการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาที่อยู่ร่วมกับเห็ดเผาะหนังแบบเอคโต-ไมคอร์ไรซา ได้ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้ยางนา 5 วิธี คือ ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 10, 25, 50 มิลลิลิตรต่อต้น ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น และไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง เมื่อกล้าไม้ยางนาอายุ 8 เดือน ได้เปรียบเทียบการเติบโตและการใช้น้ำได้ผลการศึกษาดังนี้

ภายในระยะเวลา 4 เดือน กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนังมีรากเอคโตไมคอร์ไรซาเกิดขึ้น ต่อมาเมื่อกล้าไม้มีอายุ 7 เดือน พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น มีดอกเห็ดเผาะหนังเกิดขึ้นบนผิวดินใกล้ ๆ กับโคนต้น รากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนามีลักษณะทางสัณฐานและกายวิภาคที่แตกต่างจากรากที่ไม่มีเห็ดเผาะหนังอย่างชัดเจน สำหรับลักษณะทางสัณฐานของรากที่มีเห็ดเผาะหนัง พบว่ารากแขนงมีการแตกแขนงอย่างหนาแน่น สีน้ำตาลเข้มถึงน้ำตาลปนดำ ผิวเรียบและมีความแวววาว มีเส้นใย และ rhizomorphs สีน้ำตาลอ่อน เจริญพันอยู่กับราก และมีเม็ด sclerotium รูปทรงกลม สีน้ำตาลปนดำถึงสีดำ ผิวเรียบเป็นมันจำนวนมากเกิดอยู่ด้วย

ส่วนลักษณะทางกายวิภาคของรากที่มีเห็ดเผาะหนัง พบว่ามีแผ่นแมนเทิลที่ประกอบด้วยเส้นใยใส ไม่มีสีเรียงตัวกันแบบ pseudoparenchyma แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นนอกประกอบด้วยเซลล์ขนาดใหญ่ที่เรียงตัวอย่างหลวม ๆ ส่วนชั้นในประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็กที่เรียงตัวแน่น มีเส้นใยฮาร์ติกเน็ท ซึ่งเป็นเส้นใยผนังบาง ใสไม่มีสี เจริญอยู่ระหว่างเซลล์ของชั้นเซลล์ผิวเพียงชั้นเดียว

กล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา 58-68 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง ซึ่งมีการปนเปื้อนของราเอคโตไมคอร์ไรซาเท่ากับ 33.71 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการศึกษาด้านการเติบโต พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ ทางด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก และน้ำหนักแห้ง

ส่วนราก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดิน น้ำหนักแห้งรวม พื้นที่ผิวราก และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดินต่อส่วนรากของกล้าไม้อายุ 8 เดือน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกล้าไม้ยังมีอายุน้อย และถุงพลาสติที่ใช้ปลูกกล้าอาจมีขนาดเล็กเกินไป

วิธีการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยสารแขวนลอยสปอร์และเส้นใยบริสุทธิ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านการเพิ่มการเติบโตของกล้าไม้ ดังนั้นการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังจึงทำได้ทั้งสองวิธี แต่วิธีการปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ 25 มิลลิลิตรต่อต้น ช่วยเพิ่มการเติบโตด้านต่าง ๆ ส่วนใหญ่มากที่สุด

ส่วนการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งกล้าไม้กลุ่มที่ให้น้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และกล้าไม้กลุ่มที่ลดการให้น้ำ มีปริมาณการใช้น้ำและค่าชักนำการเปิดปากใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากระยะเวลาของแต่ละช่วงที่ลดการให้น้ำอาจสั้นเกินไป และการลดระดับการให้น้ำเร็วเกินไป ทำให้ใบกล้าไม้ยางนาเหี่ยวเฉา และเกือบร่วงหมดทั้งต้น อย่างไรก็ตามพบว่า โดยส่วนใหญ่กล้าไม้ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีค่าชักนำการเปิดปากใบสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ เกือบทุกช่วงที่มีการลดการให้น้ำ

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการป้องกันการปนเปื้อนของเห็ดเผาะหนังในทรีทเมนต์ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ ในการศึกษาครั้งต่อไป โดยต้องหาวิธีการป้องกันตัวไรและแมลงที่พาสปอร์หรือเส้นใยของราจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

2. ควรใช้ถุงพลาสติกสีดำหรือกระถางปลูกกล้าไม้ยางนา ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้รากและเส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถแผ่กระจายไปได้ไกลยิ่งขึ้น และทำให้เห็นผลการศึกษาการใช้น้ำของกล้าไม้ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะในสภาวะที่ขาดน้ำ

3. วิธีการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยสารแขวนลอยสปอร์ช่วยเพิ่มการเติบโตให้กล้าไม้ยางนาไม่แตกต่างจากการปลูกเชื้อด้วยเส้นใยบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้ทั้งสองวิธีได้ แต่การใช้สารแขวนลอยสปอร์มีความเหมาะสมในฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีดอกเห็ด และเป็นวิธีการที่ง่าย

สะดวกในการนำไปปฏิบัติของสถานีเพาะชำกล้าไม้ สำหรับการใช้เส้นใยบริสุทธิ์ของเห็ดเผาะหนัง เหมาะสมสำหรับทุกฤดูกาล เนื่องจากสามารถแยกเส้นใยของรามาเลี้ยงไว้บนอาหารเลี้ยงเชื้อและเก็บรักษาไว้ในห้องปฏิบัติการได้นาน เมื่อต้องการใช้ก็นำมาขยายให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น และปลูกเชื้อให้แก่กล้าไม้ได้ แต่วิธีนี้ต้องมีห้องปฏิบัติการที่แยกและเลี้ยงเชื้อบริสุทธิ์ได้

4. ควรลดการให้น้ำแก้กล้าไม้ ทีละน้อย และให้กล้าไม้อยู่ในสภาวะขาดน้ำ แต่ละช่วงเป็นระยะเวลานานมากขึ้น และวัดค่าอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อใช้เปรียบเทียบ เช่น ค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ประสิทธิภาพของการใช้น้ำ ความสัมพันธ์ของน้ำในเซลล์ (RWC) และอัตราการสังเคราะห์แสง เป็นต้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการใช้น้ำระหว่างกล้าไม้ที่มีและไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาชัดเจนยิ่งขึ้น

5. ควรมีการทดลองภาคสนามเพิ่มเติม โดยการนำกล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังไปทดลองปลูกเป็นสวนป่าในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การรอดตาย การเติบโตของกล้าไม้ และระยะเวลาจากเริ่มปลูกสร้างสวนป่าจนมีดอกเห็ดเผาะหนังเกิดขึ้นบนพื้นป่า นอกจากนี้ควรมีการศึกษาหาวิธีการรักษาสปอร์ให้มีชีวิตยาวนาน และการคัดเลือกสายพันธุ์ของราเอคโตไมคอร์ไรซาที่ช่วยเพิ่มการเติบโตให้กับกล้าไม้ยางนามากที่สุด

# เอกสารและสิ่งอ้างอิง


จิตรตรา กาญจนประยุธ. 2539. **การปรับปรุงการเจริญเติบโตของกล้าสน *Pinus kesiya* โดยใช้ราเอ็กโตไมคอร์ไรซ่าที่แยกจากเห็ดเผาะ (*Astraeus hygrometricus*) และเห็ดตับเต่าดำ (*Boletus edulis*).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จินตนา บุพบรรพต และ, ศิริภา โพธิ์พินิจ. 2545. การใช้ประโยชน์ของเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซากับกล้าไม้วงศ์ยาง: ความหลากหลายของเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาในสวนป่าไม้วงศ์ยางบางชนิด และการแยกเชื้อรา, น. 394-405. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้**. กรมป่าไม้, กรุงเทพ.

ชมภูนุช โสดาจันทร์. 2531. **ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานของใบกับการใช้น้ำของกล้าไม้ป่าบางชนิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนะ ผิวเหลือง, สมยศ กิจค้า และ จุติเทพ โพธิปักษ์. 2542. อิทธิพลของปุ๋ยและเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนาและตะเคียนทอง, น. 129-145. *ใน* **การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง ไม้ยางนาและไม้ในวงศ์ยาง**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไซมอน การ์ดเนอร์, พินดา สิทธิสุนทร และ วิไลวรรณ อนุสารสุนทร. 2543. **ต้นไม้เมืองเหนือ**. โครงการจัดพิมพ์คบไฟ, กรุงเทพฯ.

บุญชุบ บุญทวี. 2542. การใช้ประโยชน์ไม้ยางนา, น. 299-306. *ใน* **การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง ไม้ยางนาและไม้ ในวงศ์ยาง**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประถม บุญทน และสุดาพร ตังควณิช. 2542. **การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันเตากับน้ำมันจากต้นยางนา**. สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี.

ทนุวงศ์ แสงเทียน. 2534. **เอคโตไมคอร์ไรซาของไม้วงศ์ยาง (*Dipterocarpus alatus* Roxb.) และผลที่มีต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรวัฒน์ บุญทวีคุณ. 2533. **เทคนิคการเพาะเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซากับกล้าไม้สนเขาเขตร้อนในเรือนเพาะชำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัชชัย สันติสุข. 2542. ยางนา, น. 209-213. *ใน* **การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง ไม้ยางนาและไม้ในวงศ์ยาง**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2539. **เห็ดกินได้และเห็ดมีพิษในประเทศไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน**. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2536. **เทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพของกล้าไม้.** ภาควิชาวนวัฒนวิทยา, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วสันณ์ เพชรรัตน์, สมปอง เตชะโต และ อนุสรณ์ ทองวิเศษ. 2548. **การเจริญเติบโตของเส้นใยและการเกิดไมโครไรซ่าของเห็ดเผาะ (*Astraeus* spp.), การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยางนาเพื่อศึกษาการเกิดไมโครไรซ่าของเห็ดเผาะ (*Astraeus* spp.)**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุภาณี เพชรแก้ว. 2545. **การจำแนกชนิดของเอคโตไมคอร์ไรซาในไม้ยางนาโดยใช้ลำดับเบสของ Mitochondrial Large Subunit rDNA**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สายัณห์ สดุดี. 2537. **สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช**. ภาควิชาพืชศาสตร์, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมศักดิ์ พัฒนาประภาพันธ์. 2530. แผ่นใยไม้อัดจากการเพิ่มเยื่อไม้ยางกับไม้ชนิดต่าง ๆ. *ใน* **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2530**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

อุทัยวรรณ แสงวณิช. 2537. เอคโตไมคอร์ไรซาของไม้ป่า, น. 192-199. *ใน* ชมรมนักเรียนทุนมูลนิธิ “อานันทมหิดล”, บรรณาธิการ. **เรื่องน่ารู้สำหรับประชาชน เล่มที่ 21**. บริษัท เอช. เอ็น. กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ.

อนงค์ จันทรศรีกุล. 2530. **เห็ดเมืองไทย**. ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

อนิวรรต เฉลิมพงษ์ และ ธีรวัฒน์ บุญทวีคุณ. 2525. **การสำรวจเอคโตไมคอร์ไรซาในระบบนิเวศวิทยาป่าดิบแล้ง**. กองบำรุง, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

Alwis, D.P. and K. Abeynayake. 1980. A survey of mycorrhizae in some forest tree of Sri Lanka, pp. 146-153. *In* P. Mikola, ed. **Tropical Mycorrhiza Research**. Oxford Press, Oxford.

Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. ACIAR Monograph 32. Pirie Printers, Canberra.

Chalermponge, A. 1995. Ectomycorrhizal fungi in tropical forest at Mae Klong watershed research station, Thong Pha Phum distrit, Kanchanaburi, pp. 298-300. *In* **Proceedings of the International Workshop on "The Changes of Tropical Forest Ecosystems by El Nino and Others "**, Kanchanaburi.

Chen, Y.L., B. Dell and N. Malajczuk. 2006a. Effect of *Scleroderma* spore density and age on mycorrhiza formation and growth of containerized *Eucalyptus globulus* and *E. urophylla* seedlings. **New Forest** 31: 453-467.

_____., L.H. Kang and B. Dell. 2006b. Inoculation of *Eucalyptus urophylla* with spores of *Scleroderma* in a nursery in south China: Comparison of field soil and potting mix. **Forest Ecology and Management** 222: 439-449.

Colom, M.R. and C. Vazzana. 2001. Drought stress effects on three cultivars of *Eragrostis curvula*: photosynthesis and water relations. **Plant Growth Regulation** 34: 195-202.

Duan, X., D.S. Neuman, J.M. Reiber, C.D. Green, A.M. Saxton and R.M. Augé. 1996. Mycorrhizal influence on hydraulic and hormonal factors involved in the control of stomatal conductance during drought. **J. Exp. Bot.** 47: 1541-1550.

Duchesne,L.C., R.L. Peterson and B.E. Eillis. 1988. Interaction between the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus* and *Pinus resinosa* induces resistance to *Fusarium oxysporum.* **Canadian Journal of Botany.** 66: 558-562.

Duponnois, R., H. Founoune, A. Ba.C. Plenchette, S.E. Jaafari, M. Neyra and M. Ducousso. 2000. Ectomycorrhization of *Acacia holosericea* A. Cunn.ex G. Don by *Pisolithus* spp. in Senegal: Effect plant growth and on the root-knot nematode *Meloidogyne javanica.* **Ann. For. Sci.** 57: 345-350.

Gieger T. and F.M. Thomas. 2002. Effects of defoliation and drought stress on biomass partitioning and water relations of *Quercus robur* and *Quercus petraea*. **Basic Appl Ecol** 3: 171–181.

Hadi, S., Y. Fakuara, Y. Setiadi, R. Prematuri and S.T. Nuhamara. 1991. Status of mycorrhiza research on dipterocarps in Indonesia, pp. 75-81. *In* **Proceedings of Pre-Workshop on BIO-REFOR**. March 26-28, Bogor, Indonesia.

Harley, J.L. and W.T.M. Smith. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press, London.

Kirk, P.K., P.E. Cannon, J.C. David and J.A. Stalpers. 2001. **Dictionary of the Fungi**. 9th ed. CABI Publishing, Wallingford.

Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1979. **Physiology of Woody plants**. Academic Press, New York.

Lamhamedi, M.S., P.Y. Bernier and J.A. Fortin. 1992. Growth, nutrition and response to water stress of *Pinus pinaster* inoculated with ten dikaryotic strains of *Pisolithus* sp.. **Tree Physiology** 10: 153-167.

Marks, G.C. and Foster. 1973. Structure, morphorogenesis and ultrastructure of ectomycorrhizae, pp. 1-44. *In* G.C. Marks and T.T. Kozlowski, eds. **Ectomycorrhizae**. Academic Press, New York.

Marx, D.H. and J.P. Barnett. 1974. Mycorrhizae and containerized forest tree seedlings, pp. 85-92. *In* **Proceeding of the North American Containerized Forest Tree Improvement Symposium**. Great Plain Agr, Council Poal, Denver, Colorado.

Mason, P.A., K. Ibrahim, K. Ingleby, R.C. Munro and J. Wilson. 2000. Mycorrhizal development and growth of inoculated *Eucalyptus globulus* (Labill.) seedlings in wet and dry conditions in the glasshouse. **Forest Ecology and Management**. 128: 269-277.

Mikola, P. 1965. Studies on ectendotropic mycorrhiza of pine. **Acta. For. Fenn.** 79: 1-56.

Morte, A., C. Lovisolo and A. Schubert. 2000. Effect of drought on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense-Terfezia claveryi*. **Mycorrhiza**. 10: 115-119.

Nardini, A., S.Salleo, M.T. Tyree and M. Vertovec. 2000. Influence of the ectomycorrhizas formed by *Tuber melanosporum* Vitt. on hydraulic conductance and water relations of *Quercus ilex* L. seedlings. **Ann. For. Sci.** 57: 305-312.

Petcharat, V. 2005. Edible *Astraeus* (Basidiomycota) from Thailand. **Nordic Journal of Botany** 23: 499-503.

Peterson, R.L., H.B. Massicotte and L.H. Melville. 2004. **Mycorrhizas; Anatomy and Cell Biology**. National Research Council of Canada, Ottawa.

Phosri, C., R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley. 2004. The genus *Astraeus* in Thailand. **Mycotaxon** 89 (2): 453-463.

_____., M.P. Martin, P. Sihanonth, A.J.S. Whalley and R. Watling. 2007. Molecular study of the genus Astraeus. **Mycological Research** 111: 275-286.

Pollisco, M.T. 1991. Ecology and propagation of the Philippine dipterocarps: a review, pp. 20-44. *In* **Proceedings of Pre-Workshop on BIO-REFOR**. March 26-28, Bogor, Indonesia.

Richards, B.N. 1994. **The Microbiology of Terrestrial Ecosystems**. Longman Scientific & Technical, New York.

Ruíz-Lozano, J.M. and R. Azcón. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. **Physiol Plant** 95: 472-478.

Singh, K.G. 1966. Ectotropic mycorrhiza in equatorial rain forest. **Malay**. **Forester** 39: 13-19.

Shyun, C.N., F. Lapeyrie and S.S. Lee. 1994. The survival and competitiveness of *Pisolithus tinctorius* in outplanted seedling of *Dipterocarpus alatus* and *Shorea glauca* in Malaysia: Preliminary report. *In* **Abstract of the Fifth Round-table Conference on Dipterocarps**. 7-10 November, 1994. Chiang Mai.

Smits, W.T.M. 1992. Mycorrhizal studies in dipterocarp forest in Indonesis, pp. 283-292. *In* Read, D.J., D.K. Lewis, A.H. Fitter and I.J. Alexander, eds. **Mycorrhizas in Ecosystems**. CAB International, University Press, Cambridge.

Thomas F.M. 2000. Growth and water relations of four deciduous tree species (*Fagus sylvatica* L., *Quercus petraea* [Matt.] Liebl., *Q. pubescens* Willd., *Sorbus aria* [L.] Cr.) occurring at Central- European tree-line sites on shallow calcareous soils: physiological reactions of seedlings to severe drought. **Flora** 195: 104–115.

_____. and T. Gausling. 2000. Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. **Ann Sci For** 57: 325–333.

Turjaman, M., Y. Tamai, H. Segah, S.H. Limin, J.Y. Cha, M. Osaki and K. Tawaraya. 2005. Inoculation with the ectomycorrhizal fungi *Pisolithus arhizus* and *Scleroderma* sp. improves early growth of *Shorea pinanga* nursery seedling. **New Forest** 30: 67-73.

Wallander, S. 2000. Uptake of P from apatite by *Pinus sylvestris* seedlings colonized by different ectomycorrhizal fungi. **Plant and Soil** 218: 249-256.

Wilcox, H.E. 1982. Morphology and development of ecto- and ectendomycorrhizae, pp. 103-113. *In* N.C. Schenck, ed. **Methods and Principle of Mycorrhizal Research**. The American Phytopathol. Soc., Paul, Minnesota.

Yuwa-Amornpitak, T., T. Vichitsoonthonkul, M. Tantichroen, S. Cheevadhanrak and S.Ratchdawong. 2006. Diversity of ectomycorrhizal fungi on dipterocapaceae in Thailand. **Journal of Biological Sciences** 6(6): 1059-1064.

Zak, B. 1973. Classification of ectomycorrhizae, pp. 43-78. *In* G.C. Marks and T.T. Kozlowski, eds. **Ectomycorrhizae**. Academic Press, New York

# ประวัติการศึกษา และการทำงาน

| | |
|---|---|
| ชื่อ –นามสกุล | นางสาวธารรัตน์ แก้วกระจ่าง |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | วันที่ 4 เมษายน 2526 |
| สถานที่เกิด | อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี |
| ประวัติการศึกษา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (วนศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 2 |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการความหลากหลายของเห็ดเขาเกษตร<br>ผู้ประสานงานโครงการวิจัย Thailand-AKECOP |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | Thailand-Asian-Korea Environmental Cooperative Project (Thailand-AKECOP) |