ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชสวน | พืชสวน

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

Development of King Bolete (*Boletus edulis* Bull. ex Fr.) Culture for Seedling Growth of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

นามผู้วิจัย นางสาววาวิตรี วีระเสถียร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ประภาพร ตั้งกิจโชติ, Ph.D.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์กวิศร์ วานิชกุล, Dr.agr.)

กรรมการ .....

(ศาสตราจารย์สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ศาสตราจารย์จริงแท้ ศิริพานิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเชื้อเห็ดตับเต่าเพื่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

Development of King Bolete (*Boletus edulis* Bull. ex Fr.) Culture for Seedling Growth of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

โดย

นางสาวสาวิตรี วีระเสถียร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2550

สาวิตรี วีระเสถียร 2550: การพัฒนาเชื้อเห็ดตับเต่าเพื่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ประภาพร ตั้งกิจโชติ, Ph.D. 131 หน้า

การศึกษาผลของแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า วิธีการปลูกเชื้อเห็ดดังกล่าว รวมทั้งชุดดิน และธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส แบ่งเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และระดับ pH พบว่า แหล่งคาร์บอน: ฟรุคโตส ซูโครส และแมนนิทอล แหล่งไนโตรเจน: แอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมที่สุด ทำให้เชื้อเห็ดตับเต่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ที่สุด และมีความหนาแน่นปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อเห็ดดังกล่าวเจริญเติบโตดี และมีความหนาแน่นมาก ที่ระดับ pH 5.0, 5.5 และ 7.0 ถึง 8.0

การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการปลูกเชื้อ ปริมาณหัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส พบว่าวิธีการปลูกเชื้อเห็ดทุกวิธีไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า แต่การใช้หัวเชื้อข้าวฟ่าง 40 และ 60 กรัม ทำให้ต้นกล้ามีความสูง ความกว้าง มวลชีวภาพ พื้นที่ใบ ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) อัตราการเจริญเติบโต (CGR) รวมทั้งปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินสูงสุด ในขณะที่การใช้เส้นใยแขวนลอยทำให้ต้นกล้ามีสัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (LAR) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ (SLA) รวมทั้งความเข้มข้นไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูงสุด

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของชุดดินปากช่อง (ดินกรด) ตาคลี (ดินหินปูน) กำแพงแสน (ดินเค็มโซดิก) และทราย (control) ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่าชุดดินไม่มีผลต่อการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า แต่ชุดดินปากช่อง และตาคลีส่งผลให้ต้นกล้ามีความกว้าง มวลชีวภาพ พื้นที่ใบ และค่า CGR สูงสุด ในขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกในทรายมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสสูงสุด และต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินปากช่องมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินสูงกว่าต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินอื่น ๆ

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของการให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัส ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่าและต้นกล้ายูคาลิปตัส พบว่าการให้ฟอสฟอรัส 10 มก./ ดิน 1 กก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าสูงสุด ในขณะที่การให้ไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีความสูง และค่า Net assimilation rate (NAR) มากสุด นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ ความเข้มข้นไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดิน ส่วนต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 5 มก. มีโพแทสเซียมเข้มข้นมากสุด ในขณะที่การให้ไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 มก. และการให้ฟอสฟอรัส 15 มก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูงสุด

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Sawithree Verasathiean 2007: Development of King Bolete (*Boletus edulis* Bull. ex Fr.) Culture for Seedling Growth of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Associate Professor Prapaporn Tangkijchote, Ph.D. 131 pages.

The appropriate medium sources affecting the growth of king bolete culture were studied. Effect of the inoculation methods of this culture, including the soil series, and nutrient application on growth of eucalyptus seedlings were also investigated. Four experiments were conducted, as follows:

The first experiment was to study the carbon and nitrogen sources and pH levels. The results indicated that fructose, sucrose and mannitol were the most suitable medium sources of carbon, while ammonium nitrate, ammonium sulphate and ammonium phosphate were the most suitable medium sources of nitrogen. These resulted in the largest diameter of the bolete culture with medium density. Moreover, this culture grew well, and had high density at the pH levels of 5.0, 5.5 and 7.0 to 8.0.

The second experiment investigated the inoculation methods and the bolete culture quantities affecting the growth of eucalyptus seedlings. The results showed that none of the inoculation methods had an effect on percentage of the bolete culture colonization. However, the seedlings inoculated with 40 and 60 grams of sorghum spawn, provided the maximum height, width, biomass, leaf area, leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR) and content of nitrogen, phosphorus, and potassium in the shoot. Whereas, the utilization of slurry mycelium yielded seedlings with highest leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), and nitrogen and potassium concentration.

The third experiment was to study the soil series: Pak Chong (acid soil), Takhli (calcareous soil), Kamphaeng Saen (saline sodic soil), and sand (control), affecting the growth of eucalyptus seedlings after bolete culture inoculation. The results showed that the soil series did not influence the bolete culture colonization. However, the Pak Chong and the Takhli soil series provided the maximum width, biomass, leaf area and CGR. Whereas, the seedlings grown in sand had the highest phosphorus concentration, and those grown in Pak Chong had higher nitrogen, phosphorus and potassium contents in the shoot than those grown in other soil series.

In fourth experiment, the influence of nitrogen and phosphorus application on growth of bolete culture and eucalyptus seedlings was studied. The results indicated that the addition of phosphorus 10 mg to 1 kg of soil gave the highest percentage of bolete culture colonization. Whereas, the addition 10 mg of nitrogen plus 10 mg of phosphorus provided the seedlings to have the highest height, and net assimilation rate (NAR). The application of all levels of nitrogen and phosphorus had no effect on the growth, biomass and nitrogen and phosphorus concentrations, including phosphorus content in the shoot. However, the seedlings obtained 5 mg of phosphorus had the highest potassium concentration. While the application of 15 mg of nitrogen plus 5 mg of phosphorus, and 15 mg of phosphorus, gave the seedlings to have the maximum nitrogen and potassium contents.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาพร ตั้งกิจโชติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำเรื่องการเรียน การวางแผนงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กวิศร์ วานิชกุล กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ศาสตราจารย์ ดร. สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิระเดช แจ่มสว่าง ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาพืชสวนที่อนุเคราะห์สถานที่ รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ขอขอบคุณบริษัทสยามฟอเรสทรี จำกัด และคุณสุพจน์ เหลืองประพฤทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าของตำรา บทความ และผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าได้นำมาอ้างอิงไว้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ อันก่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษา การทำวิจัย และการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาพืชสวนทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา ให้การช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การส่งเสริมสนับสนุน ให้โอกาส และทุนในการศึกษาแก่ข้าพเจ้าจนมีโอกาสศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สุดท้ายนี้ ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่คุณแม่ และอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และจริยธรรมแก่ข้าพเจ้า หากมีข้อผิดพลาดประการใดในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สาวิตรี วีระเสถียร

ตุลาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
ลักษณะทั่วไปของเห็ดตับเต่า	5
ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา	6
วิธีการปลูกเชื้อเอ็คโตไมคอร์ไรซา	8
ลักษณะทั่วไปของยูคาลิปตัส	10
อุปกรณ์และวิธีการ	12
ผลและวิจารณ์	22
สรุป	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	83

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาแน่นของโคโลนีเห็ดตับเต่าบนอาหาร PA ที่เติมแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ ภายหลังการปลูกเชื้อ 6, 12 และ 18 วัน	23
2	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาแน่นของโคโลนีเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่เติมแหล่งไนโตรเจนต่าง ๆ ภายหลังการปลูกเชื้อ 6, 12 และ 18 วัน	26
3	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาแน่นของโคโลนีเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่ระดับ pH ต่าง ๆ ภายหลังการปลูกเชื้อ 3, 6, 9 และ 12 วัน	29
4	เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน	33
5	ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งรวม (Md) กับระยะเวลาปลูก (t) ของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ	39
6	ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	43
7	ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	43
8	เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน	46
9	ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งรวม (Md) กับระยะเวลาปลูก (t) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ	52
10	ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดิน ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	55
11	ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินภายหลังได้รับการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

12 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งรวม (Md) กับระยะเวลาปลูก (t) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ 64

ตารางผนวกที่

1 ความสูง และความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน 85

2 มวลแห้งรวม และมวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน 86

3 มวลแห้งส่วนใต้ดิน และสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน 87

4 ค่าพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน 88

5 ค่า leaf area index และ leaf area ratio ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน 89

6 ค่า crop growth rate และ relative growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 90

7 ค่า specific leaf area และ net assimilation rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 91

8 ความสูง และความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน 92

9 มวลแห้งรวม และมวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน 93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
10	มวลแห้งส่วนใต้ดิน และสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน	94
11	ค่าพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน	95
12	ค่า leaf area index และ leaf area ratio ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน	96
13	ค่า crop growth rate และ relative growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน	97
14	ค่า specific leaf area และ net assimilation rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน	98
15	สมบัติบางประการของดินที่ใช้ในการศึกษาก่อน และหลังปลูกต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า อายุ 4 เดือน	99
16	เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน	100
17	เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน	101
18	ความสูงของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	102
19	ความสูงของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	103
20	ความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	104
21	ความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
22	มวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	106
23	มวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	107
24	มวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน	108
25	มวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	109
26	มวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	110
27	มวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	111
28	สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	112
29	สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	113
30	ค่าพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	114
31	ค่า leaf area index ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	115
32	ค่า leaf area ratio ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	116
33	ค่า crop growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

34 ค่า crop growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 118

35 ค่า relative growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 119

36 ค่า specific leaf area ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 120

37 ค่า specific leaf area ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 121

38 ค่า net assimilation rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน 122

39 ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ อายุ 4 เดือน 123

40 ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ อายุ 4 เดือน 124

41 สูตรธาตุอาหารของ Burgess *et al*. (1993) 125

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะโคโลนี สี และความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PA ที่เติมแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ อายุ 18 วัน	24
2	ลักษณะโคโลนี สี และระดับความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่เติมแหล่งไนโตรเจนต่าง ๆ อายุ 18 วัน	27
3	ลักษณะโคโลนี สี และระดับความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่ระดับ pH ต่าง ๆ อายุ 12 วัน	30
4	ลักษณะรากของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	33
5	การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	35
6	การเจริญเติบโต (A) ความสูงต้นเฉลี่ย (B) ความกว้างต้นเฉลี่ย (C) มวลแห้งรวมทั้งต้นเฉลี่ย (D) มวลแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย (E) มวลส่วนแห้งใต้ดินเฉลี่ย (F) สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน และ (G) พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	37
7	องค์ประกอบการเจริญเติบโต (A) ดัชนีพื้นที่ใบ (B) อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (C) อัตราการเจริญเติบโต (D) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (E) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ และ (F) ค่า Net Assimilation Rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน	41
8	ลักษณะรากของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าใน (A) ทราย (B) ชุดดินปากช่อง (C) ตาคลี และ (D) กำแพงแสน อายุ 4 เดือน	46
9	การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ อายุ 4 เดือน	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	การเจริญเติบโต (A) ความสูงต้นเฉลี่ย (B) ความกว้างต้นเฉลี่ย (C) มวลแห้งรวมของทั้งต้นเฉลี่ย (D) มวลแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย (E) มวลแห้งส่วนใต้ดินเฉลี่ย (F) สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (G) พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน	50
11	องค์ประกอบการเจริญเติบโต (A) ดัชนีพื้นที่ใบ (B) อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (C) อัตราการเจริญเติบโต (D) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (E) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ และ (F) ค่า Net Assimilation Rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน	53
12	ลักษณะรากยูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เมื่ออายุ 1 เดือน	58
13	เปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 4 เดือน	59
14	การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าและได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัส ในปริมาณต่าง ๆ เมื่ออายุ 4 เดือน	61
15	การเจริญเติบโต (A) ความสูงต้นเฉลี่ย (B) ความกว้างต้นเฉลี่ย (C) มวลแห้งรวมของทั้งต้นเฉลี่ย (D) มวลแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย (E) มวลแห้งส่วนใต้ดินเฉลี่ย (F) สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (G) พื้นที่ใบเฉลี่ยของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน	62
16	องค์ประกอบการเจริญเติบโต (A) ดัชนีพื้นที่ใบ (B) อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (C) อัตราการเจริญเติบโต (D) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (E) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ และ (F) ค่า Net Assimilation Rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

17 ความเข้มข้นของธาตุ (A) ไนโตรเจน (B) ฟอสฟอรัส และ (C) โพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดิน และปริมาณธาตุ (D) ไนโตรเจน (E) ฟอสฟอรัส และ(F) โพแทสเซียมที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ อายุ 4 เดือน 68

18 ลักษณะโครงสร้างภายในตัดตามขวางของ (A) รากยูคาลิปตัสที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และ (B) รากยูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า อายุ 4 เดือน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า 69

การพัฒนาเชื้อเห็ดตับเต่าเพื่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

Development of King Bolete (*Boletus edulis* Bull. ex Fr.) Culture for Seedling Growth of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

คำนำ

เห็ดตับเต่าหรือเห็ดผึ้ง (*Boletus edulis* Bull. ex Fr.) จัดเป็นเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhizal fungi; ECM) ซึ่งอาศัยร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis relationships) กล่าวคือเชื้อราเจริญห่อหุ้มรากพืช ช่วยให้รากพืชสามารถรักษาความชื้นได้ดีขึ้น และป้องกันการเกิดโรคที่ระบบรากได้ด้วย อีกทั้งเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซายังช่วยละลายธาตุอาหารจากหินและแร่ที่สลายตัวยากให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที ส่งผลให้ต้นไม้เจริญเติบโตได้ดีขึ้น (ดีพร้อม, 2541; ธงชัย, 2546) ส่วนพืชให้ความชื้น สารอาหารบางอย่าง เช่น วิตามิน คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโนบางชนิดแก่เชื้อราดังกล่าวเป็นการตอบแทน ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (อนงค์ และอัจฉรา, 2530; Wilcox, 1991) ซึ่งออมทรัพย์ และคณะ (2544) พบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าโดยการรองก้นหลุม มีความสูงเพิ่มขึ้น 16.9% เนื่องจากในสภาพธรรมชาติปริมาณของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซารวมทั้งเชื้อเห็ดตับเต่าซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของไม้ดังกล่าวมีปริมาณน้อย (นงนุช และณัฐนิสา, 2543; Mala *et al*., 1998) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แหล่งไนโตรเจน แหล่งคาร์บอน และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ฯลฯ แต่ข้อมูลที่เกี่ยวกับปัจจัยดังกล่าวมีน้อยมาก ยกเว้นในเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาบางชนิด เช่น Daza *et al.* (2006) ทดลอง เลี้ยงเชื้อรา *Amanita caesarea* พบว่า แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราดังกล่าวคือ แมนนิทอล และกลูโคส ซึ่ง Martin *et al*. (1998) พบว่า เชื้อรา *Pisolithus tictorius* ใช้น้ำตาลกลูโคสที่เก็บสะสมในรากยูคาลิปตัส และเปลี่ยนน้ำตาลดังกล่าวให้อยู่ในรูปน้ำตาลทรีฮาโลส และน้ำตาลแอลกอฮอล์ เช่น แมนนิทอล ซึ่งเป็นน้ำตาลที่เคลื่อนที่ในเชื้อราเอ็คโต-ไมคอร์ไรซา และเก็บสะสมอยู่ในฮาร์ติกเน็ต และแผ่นแมนเทิล ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ albumin bovine, ไนเตรท และแอมโมเนียม ส่วนเชื้อรา *Lactarius affinis*, *Leccinum aurantiacum*, *P. tinctorius* และ *Suillus intermadius* เจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่เติมแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนคือ bovine serum albumen และ arginine (Dickie *et al*., 1998) นอกจากนี้เชื้อราดังกล่าว

ยังเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 6-7 จะเห็นได้ว่าเชื้อราแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้แหล่งอาหารและระดับ pH แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งอาหารและระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณเชื้อเห็ดดังกล่าวสำหรับใส่ในรากพืชอาศัยต่อไป ซึ่งพืชอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า ได้แก่ ไม้ผล เช่น มะม่วง มะกอกน้ำ และไม้ป่า รวมทั้งยูคาลิปตัส ซึ่งไม้ยูคาลิปตัสมีประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ ไม้แปรรูป เฟอร์นิเจอร์ และการก่อสร้าง ฯลฯ เนื่องจากไม้ดังกล่าวเจริญเติบโต และปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดี เนื้อไม้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เร็ว (เกษมสุข, 2533) สำหรับการปลูกต้นยูคาลิปตัสนั้น นิยมใช้ต้นกล้าจากการปักชำ หรือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทั้งนี้เนื่องจากการขยายพันธุ์ดังกล่าวทำให้ได้ต้นพืชปริมาณมาก และมีลักษณะตรงตามพันธุ์ (ไพบูลย์, 2524) นอกจากนี้ยังพบว่าระยะต้นกล้าเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกเชื้อเห็ดเอ็คโตไมคอร์ไรซา เนื่องจากรากมีลิกนินสะสมน้อย เชื้อราดังกล่าวจึงสามารถเจริญเข้าสู่รากของต้นกล้าได้ง่ายกว่ารากต้นไม้ที่โตแล้ว อีกทั้งยังใช้หัวเชื้อปริมาณน้อย วิธีการปลูกเชื้อทำได้สะดวก รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ และประสบความสำเร็จสูง (ธงชัย, 2546; Brundrett *et al*., 1996) การปลูกเชื้อเห็ดเอ็คโตไมคอร์ไรซาให้กับต้นกล้ายูคาลิปตัสจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของต้นกล้าได้ ในขณะเดียวกันยังช่วยให้ต้นกล้ายูคาลิปตัสเจริญเติบโตดีขึ้น ช่วยย่นระยะเวลาในการปลูกสวนป่า รวมทั้งยังได้สวนเห็ดธรรมชาติซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปลูกป่า และเป็นผลดีต่อระบบนิเวศ

อย่างไรก็ตามต้นยูคาลิปตัสที่ปลูกในประเทศไทย มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันตามปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) ฯลฯ และส่วนใหญ่มักเจริญเติบโตช้า และให้ผลผลิตต่ำ (สถิ, 2531) ดังนั้นการปลูกเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าไม้ดังกล่าวได้ โดยเชื้อราดังกล่าวช่วยทำให้ ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และทองแดง เป็นต้น เคลื่อนย้ายจากดินสู่พืชได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น (Marcschner and Dell, 1994) นอกจากนี้เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซายังสามารถผลิตกรดอินทรีย์และเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) ซึ่งช่วยให้ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินในรูปของสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมฟอสเฟต หรืออลูมินัมฟอสเฟต สลายตัวเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (Lapeyrie and Chilvaers, 1985) ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้นจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดตับเต่า ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อปลูกในชุดดินที่มีปัจจัยทางเคมีแตกต่างกัน คือ

ชุดดินปากช่องซึ่งเป็นดินกรด ชุดดินตาคลีซึ่งเป็นดินด่าง และชุดดินกำแพงแสนซึ่งเป็นดินเค็ม-โซดิกเปรียบเทียบกับทรายซึ่งมีสภาพเป็นกลาง

นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเข้าอยู่อาศัยและประสิทธิภาพของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ซึ่งมีผลต่อการดูดธาตุอาหารของพืช เนื่องจากการให้ไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณมากเกินไป อาจยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราดังกล่าว หรือทำให้ความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชลดลง (Bougher *et al*., 1990; Brundrett *et al*., 1996) ดังนั้นจึงทำการศึกษาโดยให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงระดับของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่าและต้นกล้ายูคาลิปตัส ตลอดจนเป็นการลดการใช้ปุ๋ยเคมี และลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

ในปัจจุบันข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเห็ดเอ็คโตไมคอร์ไรซาที่รับประทานได้ยังมีน้อย ดังนั้นการศึกษาแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า ตลอดจนศึกษาผลของชุดดินที่แตกต่างกัน รวมทั้งศึกษาปริมาณของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดตับเต่าเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส และกล้าไม้อื่น ๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และระดับ pH ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

2. ศึกษาวิธีการปลูกเชื้อ และปริมาณหัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

3. ศึกษาผลของชุดดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า

4. ศึกษาปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า และต้นกล้ายูคาลิปตัส

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของเห็ดตับเต่า

เห็ดตับเต่า (King bolete mushroom) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Boletus edulis* Bull. ex Fr. มีชื่อสามัญแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เช่น เห็ดหว้า เห็ดผึ้ง และเห็ดส้ม ฯลฯ (วสันณ์, 2536) เห็ดดังกล่าวเป็นเห็ดที่มีรสชาติและกลิ่นดี นิยมนำมาประกอบอาหารประเภทแกงคั่ว แกงป่า หรือเป็นเครื่องเคียง นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางยา คือ บำรุงร่างกาย แก้หวัด และบรรเทาอาการปวดข้อ (ศิริวรรณ และไมตรี, 2546) ดอกเห็ดมีผิวด้านบนเรียบสีน้ำตาลเข้ม บริเวณกลางหมวกหนาประมาณ 2-3 ซม. และเรียวแคบไปยังขอบหมวก เนื้อหมวกเห็ดสีขาวปนเหลืองอ่อน ด้านล่างมีรูขนาดเล็กคล้ายรวงผึ้งสีเหลืองสำหรับสร้างเบสิดิโอสปอร์ (basidiospore) ก้านดอกขนาดใหญ่ 2-4 เซนติเมตร และยาว 5-10 ซม. ผิวด้านนอกมีสีน้ำตาลเช่นเดียวกับหมวก โคนก้านโป่งออกเป็นกระเปาะ หรือทรงกระบอก และมีรอยย่นหยักเป็นร่องห่าง ๆ รอบโคนก้าน เนื้อเยื่อภายในมีสีขาวสานกันละเอียดแน่นทึบเช่นเดียวกับเนื้อหมวกเห็ด (อนงค์, 2535; ราชบัณฑิตยสถาน, 2539)

เห็ดตับเต่าจัดเป็นเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกับรากไม้ยืนต้น โดยสร้างเส้นใยรอบ ๆ ราก คลุมผิวรากอัดกันแน่น (compact sheath) เรียกโครงสร้างนี้ว่า แผ่นแมนเทิล (mantle sheath) ในขณะเดียวกันเส้นใยราบางส่วนเจริญเข้าไปอยู่ระหว่างเซลล์ของราก (intercellular hyphae) และเจริญเข้าสู่ชั้นคอร์เท็กซ์เกิดเป็นร่างแห เรียกว่า ฮาร์ติกเน็ท (hartig net) ซึ่งสามารถพบเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในพืชประมาณ 2,000 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นไม้ป่า ได้แก่ ไม้ในวงศ์สนเขา (Pinaceae) วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) วงศ์ก่อ (Fagaceae) วงศ์มะค่าโมง (Caesalpinaceae) และวงศ์ยูคาลิปตัส (Myrtaceae) นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาประมาณ 5,000 ชนิด สามารถเจริญเติบโตในอาหารสังเคราะห์ได้ และสามารถสร้างส่วนขยายพันธุ์โดยอาศัยเพศ (sexual fructification) คือ ดอกเห็ดในสภาพธรรมชาติได้ด้วย (อนิวรรต, 2542; ธงชัย, 2546)

การที่เส้นใยเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเจริญห่อหุ้มรากพืชนั้น ช่วยส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตดีขึ้น โดยช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาณรากแขนง ในการดูดซับน้ำ ทำให้พืชทนแล้งได้ดีขึ้น อีกทั้งช่วยย่อยสลายธาตุอาหารที่สลายตัวยาก เช่น ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม ฯลฯ นอกจากนี้ยังเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ระบบราก และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดโรค

บริเวณราก โดยการผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiotics) ออกมารอบราก เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเชื้อโรคต่าง ๆ ทำให้รากมีอายุยืน นอกจากนี้เชื้อราดังกล่าวยังสามารถลดความเป็นพิษของโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินได้ด้วย (อนิวรรต, 2542; ธงชัย, 2546)

ส่วนการตรวจสอบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในรากพืช สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตา โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงสีและรูปร่างของราก ซึ่งรากมีลักษณะ อ้วนสั้น และแตกแขนงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราผลิตออกซินไปกระตุ้นให้รากพืชแตกแขนง และมีรูปร่างแตกต่างกันตามสกุล (genus) ของพืช นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราดังกล่าวได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยการย้อมสีรากเพื่อตรวจหาแผ่นแมนเทิลที่หุ้มอยู่รอบราก และฮาร์ติกเน็ทซึ่งอยู่ระหว่างเซลล์ชั้นคอร์เท็กซ์ (อุทัยวรรณ, 2537; Brundrett *et al*., 1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา

การเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในอาหารสังเคราะห์ และในสภาพธรรมชาติขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แหล่งคาร์บอน และไนโตรเจน ความต้องการฟอสเฟต ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ฯลฯ (Kaul, 2002)

แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสามารถใช้สารประกอบคาร์บอนได้หลายชนิด ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส เฮกโซส และแมนนิทอล เป็นต้น ยกเว้น เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเชื้อดังกล่าวนำไปใช้ได้ยาก (Molina and Palmer, 1982) ส่วน Gong *et al*. (1997) พบว่า แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาคือ กลูโคส ฟรุคโตส และมอลโทส ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับเชื้อราดังกล่าวนั้นได้จากอนินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมและไนเตรท แต่เชื้อราใช้ไนโตรเจนในรูปของเกลือไนเตรทได้น้อยมาก และ Brundrett *et al*. (1996) รายงานว่า ปริมาณไนโตรเจนสูงยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ทำให้เชื้อราดังกล่าวเจริญเติบโตช้าลง

ความต้องการฟอสเฟต ในสภาพธรรมชาติเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเจริญเติบโตได้ดี และสามารถละลายธาตุฟอสฟอรัสออกมาใช้ได้มาก โดยเฉพาะในดินที่มีปัญหาเกี่ยวกับการตรึงฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ หรือในดินที่ขาดฟอสฟอรัส จากการทดลองของ Conjeaud *et al*. (1996) พบว่า เชื้อรา *Habeloma cylindrosporum* มีประสิทธิภาพในการใช้ธาตุฟอสฟอรัสได้ดี และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าสน Maritime แต่การเจริญเติบโตของเชื้อราดังกล่าวลดลงเมื่อได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่สูงขึ้น สอดคล้องกับ Bougher *et al*. (1990) พบว่าเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเจริญเติบโตลดลง และไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับฟอสฟอรัสมากกว่า 28 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม นอกจากนี้การเสริมแร่ธาตุอื่น ๆ ร่วมกับธาตุฟอสฟอรัสช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อราไมคอร์ไรซาและต้นไม้ได้ ซึ่ง Beckjord *et al.* (1985) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในอัตราที่เหมาะสมส่งผลให้เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาอยู่อาศัยร่วมกับต้นกล้า *Quercus alba* และ *Q. rubra* ได้ดีขึ้น

ส่วนปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินนั้น มีผลต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ซึ่งเชื้อราดังกล่าวเข้าอยู่อาศัยในรากพืชน้อยลงเมื่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินสูง ทั้งนี้อาจเนื่องจากธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรโตพลาสซึม (protoplasm) ผนังเซลล์ และโปรตีนในพืชอย่างรวดเร็ว โดยน้ำตาลกลูโคสที่เก็บสะสมที่รากถูกนำไปใช้ ทำให้น้ำตาลในรากลดลง จากการทดลองของ Marx *et al*. (1974) พบว่ากล้าสน loblolly ที่ปลูกในดินที่มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ส่งผลให้รากมีความเข้มข้นของน้ำตาลต่ำ จึงพบเชื้อรา *P. tinctorius* เข้าอยู่อาศัยในรากน้อย ส่วน Wu *et al*. (2003) พบว่าเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสามารถช่วยให้ธาตุไนโตรเจนในรูปของเกลือแอมโมเนียมเคลื่อนย้ายในรากพืชได้เร็วกว่าฟอสฟอรัสซึ่งอยู่ในรูปของฟอสเฟต

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เห็ดเป็นเชื้อราที่มีความทนทานต่อสภาพที่เป็นกรดได้ดี ซึ่ง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราส่วนมากมักอยู่ในช่วงที่เป็นกรดถึงเป็นกลาง คือประมาณ 3-7 (วิฑูรย์, 2527) อย่างไรก็ตามเห็ดเอ็คโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มี pH แตกต่างกัน ซึ่งวัชรี (2544) พบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดตับเต่า คือ 5.9 แต่ Kaul (2002) ได้รายงานว่าในสภาพธรรมชาติ เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเจริญเติบโตได้ดีในดินที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง จากการทดลองของ Cullings and Makhija (2001) พบว่า เชื้อรา *P. tinctorius*, *Dermocybe phoenicus* และ *Inocybe* sp. สามารถเจริญเติบโตได้ในดินกรด pH 2-4 แต่เชื้อรา *Lactarius rufus* มีการเจริญเติบโตลดลงเมื่ออยู่ในสภาพที่มี pH ต่ำ

ขณะที่การทดลองของ Sanchez *et al*. (2001) พบว่า เชื้อรา *Hebeloma edurum* และ *Lactarius deliciosus* เจริญเติบโตได้ในสภาพ pH ที่เป็นกลางจนถึงด่างอ่อน นอกจากนี้ วรา และศิริ (2514) พบว่า เชื้อรา *P. tinctorius* สามารถเจริญเติบโตร่วมกับพืชอาศัยในดินที่มี pH แตกต่างกัน เช่น ในต้นสนสองใบ เชื้อราดังกล่าวเจริญได้ดีในดินที่มี pH 5.5-6.5 แต่ในต้นสนคาริเบียนนั้น เชื้อราเจริญได้ดีในดินที่มี pH สูงกว่า 6.5

ชนิดของพืชอาศัย เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อพืชอาศัยที่แตกต่างกัน จากการทดลองของสมบูรณ์ (2532) พบว่า เชื้อรา *P. tinctorius* อยู่อาศัยในรากไม้สน-คาริเบียนได้ดีกว่าในรากไม้ยูคาลิปตัส และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราดังกล่าวในดินที่ฆ่าเชื้อสูงกว่าในดินที่ไม่ฆ่าเชื้อ นอกจากนี้การปลูกเชื้อราดังกล่าวยังช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านความสูง มวลชีวภาพ และปริมาณธาตุอาหารในลำต้นและใบ ส่วนการทดลองของ Mejstrik (1975) พบว่าเชื้อรา *Boletus luteus* เข้าอยู่อาศัยในรากสน *Pinus sylvestris* ได้ดี ส่วนเชื้อรา *Boletus bovinus* เข้าอยู่อาศัยในรากสน *Pinus abies* ได้ดี

วิธีการปลูกเชื้อเอ็คโตไมคอร์ไรซา

การปลูกเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาให้กับกล้าไม้ที่ประสบความสำเร็จมีหลายวิธี และควรใช้ระยะต้นกล้าซึ่งให้ผลดีที่สุด เพราะรากของต้นกล้ามีลิกนินสะสมอยู่น้อย ส่งผลให้เชื้อราเจริญเข้าสู่รากได้ง่าย ส่วนความสามารถในการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราดังกล่าวในรากพืชนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดและอายุของเชื้อ ความหนาแน่นของเชื้อ และความสามารถในการเข้ากันได้ของเชื้อรากับพืชอาศัย ซึ่ง Riffle and Maronek (1982) ได้รายงานวิธีการปลูกเชื้อดังต่อไปนี้

การใช้เชื้อเปียก (Slurry) โดยผสมเชื้อหรือเส้นใยในน้ำหรือสารผสม เช่น ดินเหนียวเหลว ฯลฯ และจุ่มกล้าไม้ในสารผสมดังกล่าวก่อนนำไปปลูก เรียกวิธีการนี้ว่า slurry dips (Brundrett *et al*., 1996) ซึ่ง Marx and Kenny (1982) ได้พัฒนาวิธีการดังกล่าวในการผลิตต้นกล้าสน *Pinus taeda* อายุ 10 สัปดาห์ โดยจุ่มรากต้นกล้าสนในส่วนผสมของเชื้อรา *P. tinctorius* ที่ผ่านการบดและน้ำ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และปลูกกล้าไม้ดังกล่าวในเวอร์มิคูไลต์ผสมพีทมอส อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งจะเห็นเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาภายใน 4 สัปดาห์

การใช้เชื้อจากดิน (Soil inoculum) โดยใช้ดินจากบริเวณที่มีเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา เป็นวัสดุในการเพาะกล้าหรือเพาะเมล็ด ซึ่งดีพร้อม (2541) รายงานว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าให้แก่ต้นกล้ามะกอกน้ำ โดยใช้ดินจากบริเวณที่เห็ดดังกล่าวขึ้น ผสมกับดินอัตรา 1:6 ถึง 1:10 โดยน้ำหนักเป็นวัสดุปลูก พบว่า เชื้อเห็ดตับเต่าสามารถเข้าอยู่อาศัยในรากมะกอกน้ำ ส่งผลให้รากของกล้าไม้ดังกล่าวมีลักษณะบวมพอง และมีขนาดใหญ่อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ ธีรวัฒน์ (2533) ได้ทดลองปลูกเชื้อ *P. tinctorius* จากดินให้แก่กล้าไม้สนสามใบ พบว่า สนสามใบมีการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับคอราก มวลชีวภาพน้ำหนักแห้ง และปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสในส่วนของใบ ลำต้น และรากดีที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวมีโอกาสประสบความสำเร็จได้น้อย เนื่องจากปริมาณเชื้อราในดินอาจมีอยู่น้อย ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตเข้าสู่รากกล้าไม้ได้ อีกทั้งอาจมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการ หรือมีเชื้อโรคพืชติดมากับดิน (อนิวรรต, 2542; Castellano, 1994; Chalermpongse, 1995)

การเพาะเชื้อโดยใช้เบสิดิโอสปอร์ และการใช้ดอกเห็ด (Basidiospore and sporocarp inoculum) มีหลายวิธี เช่น การราดสปอร์แขวนลอยลงไปในดิน การผสมสปอร์แห้งกับวัสดุปลูกโดยตรง หรือการคลุกเมล็ดด้วยสปอร์ที่อยู่ในสารผสม (carrier) ก่อนการปลูก ซึ่งสารผสมที่นิยมใช้ได้แก่ เวอร์มิคูไลต์ คาโอลิน ทราย และน้ำ ส่วนการใช้ดอกเห็ดหรือชิ้นส่วนของดอกเห็ด โดยบดส่วนของเห็ดให้มีขนาดเล็กและผสมน้ำอัตราส่วน 1: 1,000 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และฉีดพ่นเมล็ดหรือราดบริเวณของรากต้นกล้าในแปลงเพาะ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ การเก็บดอกเห็ดให้ได้ปริมาณมากจำเป็นต้องรอช่วงฤดูกาลที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังต้องรีบนำดอกเห็ดสดมาใช้ทันที ก่อนที่ดอกเห็ดเน่าสลาย (อนิวรรต, 2542; ธงชัย, 2546)

การใช้เส้นใยโดยตรงกับรากพืช (Mycelial inoculum) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่ง Boyle *et al.* (1987) ได้เพิ่มปริมาณเส้นใยราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในเวอร์มิคูไลต์ผสมพีทมอสอัตราส่วน 28:1 โดยปริมาตร ปลูกเชื้อโดยการรองก้นหลุม หรือผสมกับวัสดุเพาะเมล็ดหรือเพาะกล้า นอกจากนี้ Santos *et al.* (2001) ปลูกหัวเชื้อราที่เลี้ยงในข้าวฟ่างต้ม ปริมาณ 10 กรัมต่อดิน 500 กรัมให้แก่กล้าไม้ยูคาลิปตัส นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการหุ้มเส้นใยด้วยสารต่าง ๆ เช่น วุ้น (alginate beads) เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยได้รับอันตรายก่อนที่จะเข้าสู่รากพืช อีกทั้งสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (Kuek *et al.*, 1992) ส่วนนงนุช และณัฐนิสา (2543) พบว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า ปริมาณ 8, 16 และ 32 กรัม ต่อต้น โดยการโรยและฝังเส้นใยเห็ดบดรอบโคนต้นกล้าทองหลางซึ่งปริมาณดังกล่าวนั้นไม่เพียงพอที่จะเจริญเข้าสู่รากต้นกล้าได้

ลักษณะทั่วไปของยูคาลิปตัส

ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) มีชื่อสามัญว่า Red gum, River red gum และ Merray red gum อยู่ในวงศ์ Myrtaceae ต้นมีความสูงปานกลางถึงสูงมาก ใบเป็นรูปหอก ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนทั้งสองด้าน เปลือกเรียบเป็นมันสีเทาสลับสีขาว มีถิ่นกำเนิดกระจัดกระจายตั้งแต่เขตร้อนถึงเขตอบอุ่นของประเทศออสเตรเลีย โดยปกติมักพบในพื้นที่ที่ระดับความสูง 30–230 เมตร จากระดับน้ำทะเล ระหว่างเส้นรุ้ง 12˚–38˚ใต้ และเส้นแวง 112˚–152˚ ตะวันออก ยูคาลิปตัสสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินทราย ดินเค็ม และดินเปรี้ยว แต่ดินที่เหมาะสมที่สุดคือดินร่วนปนทราย ระบายน้ำดี และเป็นดินกรด (เกษมสุข, 2533) ส่วน Yoshisuji and Kawasoe (1961) พบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส อยู่ระหว่าง 4.6-6.6 และการเจริญเติบโตลดลง เมื่อ pH ต่ำกว่า 3.5 นอกจากนี้ยังพบว่าไม้ยูคาลิปตัสไม่ทนทานต่อดินที่มีหินปูนมาก ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมสูง โดยจะปรากฏอาการใบเหลืองซีด หรือมีภาวะขาดคลอโรฟิลด์ (chlorosis) (Food and Agriculture Organization [FAO], 1980)

การเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัสในประเทศไทยนั้น แตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ปลูก กล่าวคือ ต้นไม้ดังกล่าวเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ และสภาพภูมิอากาศเหมาะสม แต่ต้นไม้เจริญเติบโตช้ามาก เมื่อปลูกในสภาพพื้นที่แห้งแล้ง และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (สถิ, 2531) ซึ่งจากการทดลองของสุชีลา (2531) พบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินตาคลี ซึ่งเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และมี pH เป็นกลางถึงด่าง มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางคอราก น้ำหนักแห้งของราก และมวลชีวภาพรวมสูงกว่าต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินน้ำพองซึ่งเป็นดินทรายจัด และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า ความเค็มของดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งจักรกฤษณ์ (2532) รายงานว่าจากการสำรวจสวนป่ายูคาลิปตัสในพื้นที่ดินเค็มที่มีเกลือมากกว่า 70% พบว่าไม้ยูคาลิปตัสสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพดินเค็มได้ดี แต่มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ และจากการศึกษาของ Rawat and Banerjee (1998) พบว่า ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการเจริญเติบโต และน้ำหนักแห้งของต้นยูคาลิปตัส เนื่องจากพืชที่ขึ้นบนพื้นที่ดินเค็มต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต เกลือในดินทำให้น้ำในดินมีแรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น และความต่างศักย์ของน้ำลดลง เซลล์พืชจึงมีอาการขาดน้ำ (อรุณี, ม.ป.ป.) ดังนั้นการปลูกเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาอาจเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยส่งเสริม

ให้ต้นไม้ดังกล่าวเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งสมบูรณ์ (2532) ได้ศึกษาผลกระทบของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *P. tinctorius* ต่อการเจริญเติบโตและการดูดซับธาตุอาหารของกล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนมูลดินเหมืองแร่ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบว่ากล้าไม้ที่ได้รับการปลูกเชื้อราดังกล่าวอายุ 6 เดือน มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก มวลชีวภาพแห้ง ปริมาณธาตุฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อ

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาผลของแหล่งอาหาร และระดับ pH ที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า โดยเลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่าในอาหารวุ้นที่มีแหล่งอาหาร และระดับ pH แตกต่างกัน บันทึกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี เปรียบเทียบสี และความหนาแน่นของเส้นใยเห็ด รวมระยะเวลาการทดลอง ๆ ละ 16-18 วัน นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการปลูกเชื้อ และปริมาณของเชื้อเห็ดตับเต่า รวมทั้งปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ ชุดดิน และปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า และการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส บันทึกการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากพืช มวลชีวภาพ และปริมาณธาตุอาหารในลำต้นและใบ แต่ละการทดลองบันทึกข้อมูลเป็นเวลา 4 เดือน ซึ่งรายละเอียดของแต่ละการทดลองมีดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาแหล่งอาหาร และ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

แบ่งเป็น 3 การทดลองย่อย แต่ละการทดลองย่อยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มี 10 ซ้ำ (จานเลี้ยงเชื้อ)

การทดลองย่อยที่ 1.1 ศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

การเตรียมเชื้อเห็ดตับเต่า

เตรียมเชื้อเห็ดตับเต่าโดยย้ายเชื้อเห็ดตับเต่าบริสุทธิ์ลงเลี้ยงบนอาหารวุ้น PDA (potato dextrose agar) (ปริมาตร 25 มิลลิลิตรต่อจาน) ในจานเลี้ยงเชื้อ (petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic technique) เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์ บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ในสภาพมืด นาน 20 วัน ตัดเส้นใยบริเวณรอบนอกของโคโลนีพร้อมทั้งอาหารวุ้นออกเป็นชิ้นกลม ๆ (agar block) ด้วยอุปกรณ์เจาะจุกคอร์ก (cork borer) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 หรือ 7 มิลลิเมตร สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

การทดลองนี้ได้เลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่า (เตรียมไว้ข้างต้น) บนอาหารวุ้น PA (potato agar) ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อจาน และเติมแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ ดังนี้ คือ กลูโคส (glucose), ฟรุคโตส (fructose), ซูโครส (sucrose), มอลโทส (maltose), แมนนิทอล (mannitol) และ soluble starch

ชนิดละ 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และไม่เติมแหล่งคาร์บอน (control) หุ้มจานด้วยพลาสติกฟิล์ม บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ในสภาพมืด บันทึกข้อมูลโดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร) ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ 2 แนวตั้งฉาก ทุก 6 วัน จนกระทั่งเส้นใยเจริญเต็มจานเลี้ยงเชื้อ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SAS (1999-2000) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เมื่อสิ้นสุดการทดลองเปรียบเทียบสีและความหนาแน่นของเส้นใยด้วยสายตาพร้อมทั้งให้คะแนนดังนี้

คะแนน ++++	หนาแน่นมากที่สุด
คะแนน +++	หนาแน่นมาก
คะแนน ++	หนาแน่นปานกลาง
คะแนน +	หนาแน่นน้อย

การทดลองย่อยที่ 1.2 ศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

การทดลองนี้ได้เลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่า (เตรียมเช่นเดียวกับการทดลองย่อยที่ 1.1) บนอาหารวุ้น PDA ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อจาน และเติมแหล่งไนโตรเจนต่าง ๆ กัน ดังนี้ คือ เปปโตน (peptone), ยูเรีย (urea), แอมโมเนียมไนเตรท (ammonium nitrate), แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate), แอมโมเนียมฟอสเฟต (ammonium phosphate), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (di-ammonium phosphate) ชนิดละ 0.1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และไม่เติมแหล่งไนโตรเจน (control) หุ้มจานด้วยพลาสติกฟิล์ม บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ในสภาพมืด บันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

การทดลองย่อยที่ 1.3 ศึกษาผลของระดับ pH ที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

การทดลองนี้ได้เลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่า (เตรียมเช่นเดียวกับการทดลองย่อยที่ 1.1) บนอาหารวุ้น PDA ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อจาน และปรับ pH 5.9 เป็น pH ระดับต่าง ๆ กัน ดังนี้ คือ pH 5.0, 5.5, 6.0 (control), 6.5, 7.0, 7.5 และ 8.0 ด้วยสารละลายกรด (0.5 M HCl) และด่าง (0.5 M NaOH) หุ้มจานด้วยพลาสติกฟิล์ม บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ในสภาพมืด บันทึกข้อมูลทุก ๆ 3 วันและวิเคราะห์ผลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการปลูก และปริมาณหัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

เตรียมหัวเชื้อเห็ดตับเต่า โดยเลี้ยงชิ้นเชื้อเห็ดตับเต่าบริสุทธิ์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร (เตรียมไว้ข้างต้น) ในฟลาสก์อาหารเหลว PDB (potato dextrose broth) ปริมาตร 30 มิลลิลิตรต่อฟลาสก์ และในข้าวฟ่างต้มกับอาหารเหลว PDB ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่ง-ความดัน อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 30 นาที บ่มที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) จนเส้นใยเจริญทั่วข้าวฟ่าง ซึ่งใช้เวลานาน 40 วัน จากนั้นปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าดังกล่าวข้างต้นให้กับกล้ายูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) โคลนซีที 76 อายุ 1 เดือน จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามฟอเรสทรี จำกัด ปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ (กระถาง) ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 ไม่ปลูกเชื้อ (control)
ทรีทเมนต์ที่ 2 จุ่มรากต้นกล้าในเส้นใยแขวนลอย (mycelial suspension)
ทรีทเมนต์ที่ 3 รองและโรยหัวเชื้อข้าวฟ่างรอบตุ้มราก ปริมาณ 20 กรัมต่อต้น
ทรีทเมนต์ที่ 4 รองและโรยหัวเชื้อข้าวฟ่างรอบตุ้มราก ปริมาณ 40 กรัมต่อต้น
ทรีทเมนต์ที่ 5 รองและโรยหัวเชื้อข้าวฟ่างรอบตุ้มราก ปริมาณ 60 กรัมต่อต้น

ย้ายต้นกล้ายูคาลิปตัสลงปลูกในกระถางพลาสติกขนาด 10 นิ้ว (1 ต้นต่อกระถาง ต่อวัสดุปลูก 8 กิโลกรัม) โดยใช้ทรายที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นวัสดุปลูกและผสมธาตุอาหารต่าง ๆ ดังนี้ NH_4NO_3 288 มิลลิกรัม (มก.) K_2SO_4 892.8 มก. $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ 320 มก. $CaSO_4.2H_2O$ 412 มก. $MgSO_4.7H_2O$ 33.7 มก. FeEDTA 200 มก. $MnSO_4.4H_2O$ 135.2 มก. $CuSO_4.5H_2O$ 65.6 มก. $ZnSO_4.7H_2O$ 27.3 มก. $Na_2B_4O_7.7H_2O$ 677.12 มก. $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 3.68 มก. และ $CoCl_2.6H_2O$ 2.72 มก. ตามสูตรของ Burgess *et al.* (1993) (ตารางผนวกที่ 41)

รดน้ำอย่างสม่ำเสมอด้วยน้ำกรอง ปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อต้น ทุก 2 วัน หรือตามสภาพอากาศ และรดสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) 288 มก. ต่อต้น ทุก 2 สัปดาห์ บันทึกข้อมูลทุกเดือน เป็นเวลา 4 เดือน และวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SAS (1999-2000) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

การบันทึกข้อมูล

1. การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า โดยตรวจเส้นใยของเชื้อราในรากยูคาลิปตัส ด้วยวิธีการย้อมสี (Brundrett *et al*., 1984) โดยล้างรากให้สะอาด ตัดส่วนปลายรากยาว 1 เซนติเมตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม 10% สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จนท่วมราก แช่หลอดตัวอย่างใน water bath อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เพื่อขจัดส่วนของไซโตพลาสซึมและนิวเคลียสออกจากราก ทำให้รากพืชใส ล้างรากด้วยน้ำให้สะอาด เติมสี 0.03% Chlorazol black E ท่วมชิ้นราก และแช่หลอดตัวอย่างใน water bath อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เทสีย้อมทิ้ง เติมสารละลาย 50% glycerol เพื่อล้างสีส่วนเกินออกและรักษาสภาพของราก ตรวจการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าโดยการตรวจเส้นใย mantle sheath และ hartic net ของเชื้อเห็ดดังกล่าว จากตัวอย่างราก 20 ชิ้นต่อพืช 1 ต้น ด้วยวิธี slide method (Biermann and Linderman, 1981) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อใยเห็ดตับเต่า จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า} = \frac{\text{จำนวนรากที่พบเส้นใย}}{\text{จำนวนรากทั้งหมด}} \times 100$$

2. การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อ ดังนี้

2.1 ความสูงของต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากส่วนของลำต้นจากผิววัสดุปลูกถึงส่วนฐานของใบอ่อนที่สุด

2.2 ความกว้างของต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากส่วนของทรงพุ่มที่มีขนาดกว้างที่สุด

2.3 พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter, LI-3100, ของบริษัท LI-COR Inc., U.S.A.)

2.4 มวลสด (กรัม) โดยชั่งมวลสดของต้น ใบ และราก และมวลแห้ง (กรัม) ของแต่ละส่วนภายหลังการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 72 ชั่งโมง จนมวลแห้งคงที่

2.5 คำนวณองค์ประกอบของการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส (Radford, 1967) ดังนี้

2.5.1 มวลแห้งรวม (กรัม)

2.5.2 ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index : LAI) เป็นสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ที่ใบปกคลุมอยู่ คำนวณจากสูตร

$$LAI = \frac{\text{พื้นที่ใบ}}{\text{พื้นที่ที่ใบปกคลุมอยู่}}$$

$$\text{พื้นที่ที่ใบปกคลุมอยู่} = \pi r^2$$

$$r = \frac{\text{ความกว้างของทรงพุ่ม}}{2}$$

2.5.3 สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวมของพืช (Leaf Area Ratio: LAR)

$$LAR = A / W \quad (\text{เซนติเมตร}^2/\text{ กรัม})$$

A = พื้นที่ใบ, เซนติเมตร^2

W = มวลแห้งรวมของทั้งต้น, กรัม

2.5.4 อัตราส่วนยอดต่อราก (shoot to root ratio: S/R)

$$S/R = \frac{\text{มวลแห้งของส่วนเหนือดิน}}{\text{มวลแห้งของส่วนราก}}$$

2.5.5 Specific leaf Area (SLA) เป็นสัดส่วนระหว่างพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ

$$SLA = \frac{\text{พื้นที่ใบ}}{\text{มวลแห้งของใบ}} \quad (\text{เซนติเมตร}^2\ \text{กรัม}^{-1})$$

2.5.6 อัตราการเจริญเติบโตของพืช (Crop Growth Rate : CGR) เป็นอัตราการเพิ่มของมวลแห้งของพืชต่อหน่วยเวลา โดยอัตราการเพิ่มของมวลเป็นฟังก์ชั่นของมวลเริ่มต้น ทำให้การเพิ่มมวลเป็นแบบอัตราก้าวหน้าตามอายุ ซึ่งลักษณะการเติบโตของสิ่งมีชีวิตเช่นนี้ จัดเป็นความสัมพันธ์แบบฟังก์ชั่นเอ็กซ์โพเนนเชียล (Thornley and Johnson, 1990) คำนวณจากสูตร

$$W(t) = W_0 \exp^{(\mu t)}$$

อนุพันธ์ของสมการ เป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของมวลแห้งของต้นต่อเดือน (กรัมต่อเดือน) จะได้รูปอนุพันธ์ดังนี้

$$CGR = dW/dt$$
$$= \mu W_0 \exp^{(\mu t)} \quad (\text{กรัม วัน}^{-1})$$

W = มวลแห้งรวมของทั้งต้น
t = อายุต้นกล้า, เดือน
μ = ค่าคงที่สะท้อนอัตราเร็วของการเพิ่มมวล, เดือน$^{-1}$

2.5.7 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate : RGR) หรือสัมประสิทธิ์ในการสร้างมวลต่อมวลเดิมต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งอธิบายได้จากสูตร (Hunt, 1990)

$$RGR = (1/W)(dW/dt)$$
$$= (\log_e W_2 - \log_e W_1)/(t_2 - t_1) \quad \text{(กรัม กรัม}^{-1}\text{ เซนติเมตร}^{-1}\text{)}$$

W_2, W_1 = มวลแห้งรวมของทั้งต้นเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และ 1, กรัม
t_2, t_1 = อายุเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และครั้งที่ 1, เดือน

2.5.8 Net Assimilation Rate (NAR) เป็นค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพในการสร้างมวลแห้งต่อหน่วยพื้นที่ใบในช่วงเวลาหนึ่ง คำนวณจากสูตร

$$NAR = (W/A)RGR$$
$$= RGR / LAR \quad \text{(กรัม เซนติเมตร}^{2}\text{ เดือน}^{-1}\text{)}$$

RGR = อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์
LAR = สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวมของพืช
W = มวลแห้งของต้นกล้า, กรัม
A = พื้นที่ใบ

3. วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูก และวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนของต้นและใบเดือนสุดท้าย ดังนี้

3.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด- ด่างของวัสดุปลูก ด้วยวิธี electrometry โดยบดตัวอย่างวัสดุปลูก ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที พร้อมทั้งคนเป็นครั้งคราว วัด pH ของสารละลายตัวอย่างด้วย pH meter (I.Q Scientific Instrument รุ่น IQ240) (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)

3.2 วิเคราะห์ความเข้มข้นไนโตรเจนในพืช โดยนำตัวอย่างพืชบดและร่อนหนัก 0.25 กรัม ห่อด้วยกระดาษฟลอยด์ชนิดปราศจากไนโตรเจน (LECO) เผาและวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดด้วยเครื่อง protein / nitrogen determinator (LECO รุ่นFP-528)

3.3 วิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในพืช ด้วยวิธี colorimetric method (ศรีสม, 2547) (ภาคผนวก ข)

3.4 วิเคราะห์ความเข้มข้นโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) (ภาคผนวก ข)

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของชุดดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า

เตรียมหัวเชื้อเห็ดตับเต่า (ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2) และปลูกหัวเชื้อเห็ดตับเต่าดังกล่าวให้กับกล้ายูคาลิปตัสจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออายุ 1 เดือน โดยการรองและโรยหัวเชื้อรอบ ๆ ตุ้มราก ปริมาณ 40 กรัมต่อต้น และปลูกในถุงพลาสติกดำขนาด 6 นิ้ว (1 ต้นต่อถุง ต่อวัสดุปลูก 4 กิโลกรัม) โดยใช้ชุดดินต่าง ๆ ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และผสมธาตุอาหารต่าง ๆ ตามสูตรของ Burgess *et al.*(1993) (ตารางผนวกที่ 41) เป็นวัสดุปลูก วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ (ชุดดิน) ๆ ละ 3 ซ้ำ (ต้น) คือ

ทรีทเมนต์ที่ 1 ทราย (sand) เป็นวัสดุปลูกควบคุม (control)
ทรีทเมนต์ที่ 2 ชุดดินปากช่อง ซึ่งเป็นดินกรด (acid soil)
ทรีทเมนต์ที่ 3 ชุดดินตาคลี ซึ่งเป็นดินเนื้อปูน (calcareous soil)
ทรีทเมนต์ที่ 4 ชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็นดินเค็มโซดิก (saline sodic soil) มีค่า EC > 8 dSm^{-1}

รดน้ำอย่างสม่ำเสมอด้วยน้ำต้มและเย็น ปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อต้น ทุก 2 วัน หรือตามสภาพอากาศ และรดสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท 144 มก. ต่อต้น ทุก 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างต้นกล้าทุก 2 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน บันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 4 ศึกษาปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า และต้นกล้ายูคาลิปตัส

เตรียมหัวเชื้อเห็ดตับเต่า (ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2) และปลูกหัวเชื้อเห็ดตับเต่าดังกล่าวให้กับกล้ายูคาลิปตัสจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออายุ 2 เดือน ในถุงพลาสติกดำขนาด 5 นิ้ว (1 ต้นต่อถุงต่อวัสดุปลูก 4 กิโลกรัม) โดยใช้วัสดุปลูก คือทรายที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำเดือด อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และผสมธาตุอาหารต่าง ๆ ตามสูตรของ Burgess *et al*.(1993) (ตารางผนวกที่ 41) ยกเว้นไนโตรเจนและฟอสฟอรัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จัดสิ่งทดลองแบบ 4x4 factorial (ศึกษาสิ่งทดลอง 1 ถุงต่อซ้ำ จำนวน 3 ซ้ำ) มี 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัม ต่อวัสดุปลูก 1 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยให้ในรูปของสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท ทุก 2 สัปดาห์

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณฟอสฟอรัส 4 ระดับ คือ 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัม ต่อวัสดุปลูก 1 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยให้ในรูปของแคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ผสมวัสดุปลูกครั้งเดียวก่อนปลูก

รดน้ำอย่างสม่ำเสมอด้วยน้ำต้มและเย็น ปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อต้น ทุก 2 วัน หรือตามสภาพอากาศ เก็บตัวอย่างต้นกล้าทุกเดือน เป็นเวลา 4 เดือน

บันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของรากพืชเดือนสุดท้ายด้วยวิธีการทางพาราฟิน (ดัดแปลงจากวิธีของเฟื่องฟ้า, 2549; Ruzin, 1999) (ภาคผนวก ข) และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช และแปลงทดลอง 1 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มทำการทดลองในเดือนพฤษภาคม 2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2550

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาแหล่งอาหาร ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

จากการศึกษาผลของแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า ปรากฏผลดังนี้

การทดลองที่ 1.1 ศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

จากการทดลองเลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PA ที่เติมแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ พบว่า เมื่อเชื้อเห็ดมีอายุ 6 และ 12 วัน การเติมฟรุคโตสส่งผลให้เชื้อเห็ดมีโคโลนีขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 4.89 และ 8.28 เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฟรุคโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่ใช้ในการเจริญเติบโต สอดคล้องกับการทดลองของ Gong *et al.* (1997) พบว่า ฟรุคโตสเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโต-ไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ยังพบว่าโคโลนีของเชื้อเห็ดดังกล่าวบนอาหาร PA ที่เติมแมนนิทอล และ control มีขนาดเล็กที่สุดไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแมนนิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ ซึ่งแอลกอฮอล์ในน้ำตาลอาจมีผลในการชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า ในขณะที่อาหาร control เชื้อเห็ดดังกล่าวยังสามารถเจริญเติบโตได้ อาจเป็นเพราะ control มีน้ำตาลซึ่งได้จากมันฝรั่งและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

เมื่อเชื้อเห็ดตับเต่ามีอายุ 18 วัน พบว่า การเติมกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส แมนนิทอล และ soluble starch ส่งผลให้เชื้อเห็ดดังกล่าวเจริญเติบโตเต็มจานเลี้ยงเชื้อเร็วกว่า control เนื่องจากเชื้อเห็ดสามารถนำน้ำตาลดังกล่าวมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่าย อีกทั้งยังพบว่าการเติมแมนนิทอลส่งผลให้เชื้อเห็ดเจริญเติบโตได้ดีขึ้น อาจเป็นเพราะแอลกอฮอล์ในน้ำตาลระเหยออกไป ส่งผลให้เชื้อเห็ดนำน้ำตาลไปใช้ได้ง่ายขึ้น ส่วนการเติมมอลโตสส่งผลให้เชื้อเห็ดเจริญเติบโตช้าลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก มอลโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ และแตกตัวให้กลูโคส 2 โมเลกุล ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลดังกล่าวในอาหารสูงเกินไป ไม่เหมาะสมต่อเจริญเติบโตของเชื้อเห็ด (ตารางที่ 1)

จากการสังเกตสี ลักษณะโคโลนี และความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่าโคโลนีของเห็ดดังกล่าวมีสีน้ำตาลอมเหลืองเหมือนกันทุกทรีทเมนต์ และพบตุ่มดอกขนาดเล็ก รวมทั้งหยดน้ำสีน้ำตาลบนอาหารที่เติมฟรุคโตส ซูโครส มอลโตส และ soluble starch นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมกลูโคส มอลโตส และ soluble starch ส่งผลให้โคโลนีเชื้อเห็ดดังกล่าวมีความหนาแน่นมากกว่า control ในขณะที่ อาหารที่เติมฟรุคโตส ซูโครส และแมนนิทอลทำให้โคโลนีมีความหนาแน่นปานกลาง (ตารางที่1 และภาพที่ 1)

ตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาแน่นของโคโลนีเห็ดตับเต่าบนอาหาร PA ที่เติมแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ ภายหลังการปลูกเชื้อ 6, 12 และ 18 วัน

ชนิดของแหล่งคาร์บอน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร) [1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (วัน)			ความหนาแน่นของเส้นใย [2/]
	6	12	18	
ไม่เติมแหล่งคาร์บอน (control)	3.86 d	6.86 e	8.77 b	++
กลูโคส	4.59 b	8.05 b	9.00 a	+++
ฟรุคโตส	4.89 a	8.28 a	9.00 a	++
ซูโครส	4.17 c	7.42 d	9.00 a	++
มอลโตส	4.64 b	7.66 c	8.84 b	+++
แมนนิทอล	3.92 d	7.02 e	9.00 a	++
soluble starch	4.67 b	7.48 cd	9.00 a	+++
F-test	**	**	*	
% C.V.	3.79	3.15	1.75	

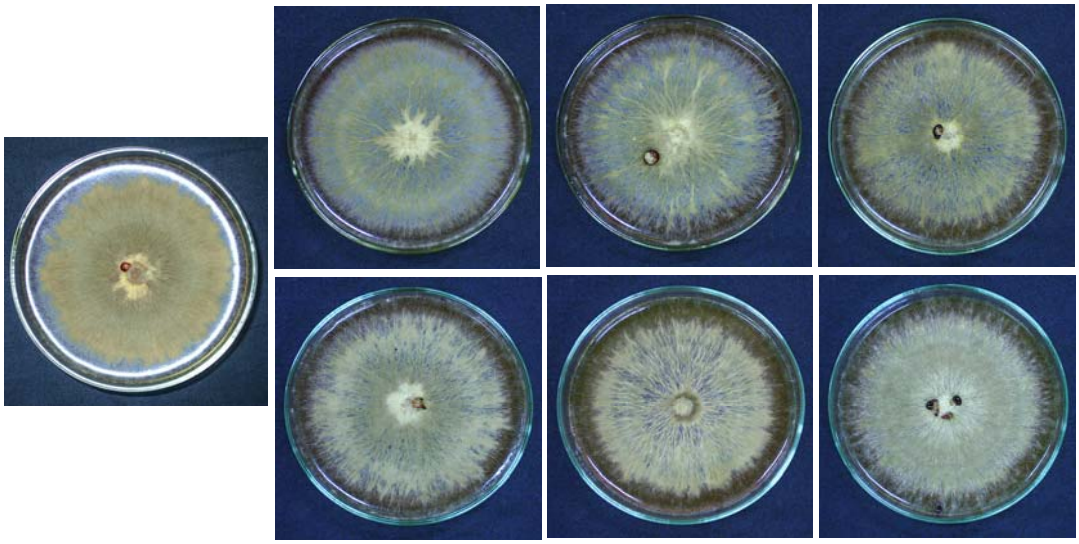
หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

[2/] ความหนาแน่นของเส้นใย

++++ หนาแน่นมากที่สุด ++ หนาแน่นปานกลาง

+++ หนาแน่นมาก + หนาแน่นน้อยที่สุด



ภาพที่ 1 ลักษณะโคโลนี สี และความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PA ที่เติมแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ อายุ 18 วัน

A) ไม่เติมแหล่งคาร์บอน (control)

B) กลูโคส

C) ฟรุคโตส

D) ซูโครส

E) มอลโทส

F) แมนนิทอล

G) soluble starch

การทดลองที่ 1.2 ศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

การทดลองเลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่เติมแหล่งไนโตรเจนต่าง ๆ พบว่า เมื่อเชื้อเห็ดดังกล่าวมีอายุ 6 วัน การเติมแอมโมเนียมฟอสเฟต ($NH_4H_2PO_4$,ไนโตรเจน 11%) และแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3, ไนโตรเจน 34%) ส่งผลให้โคโลนีมีขนาดใหญ่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 เซนติเมตร รองลงมาคือ แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$, ไนโตรเจน 21%) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสามารถใช้อนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของเกลือแอมโมเนียมได้ดี (Lunderberg, 1970) แต่โคโลนีของเชื้อเห็ดดังกล่าวบนอาหาร PDA ที่เติมไดแอมโมเนียม-ฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$, ไนโตรเจน 21%) มีขนาดเล็กสุด อาจเป็นเพราะไดแอมโมเนียมฟอสเฟตมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่มากเกินไป (ฟอสฟอรัส 24%) ทำให้เชื้อเห็ดดังกล่าวเจริญเติบโตช้า สอดคล้องกับการทดลองของ Bougher *et al*. (1990) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาไม่ควรเกิน 28 มก. ต่อดิน 1 กก. ส่วนการเติมเปปโตนซึ่งเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนนั้น ส่งผลให้เชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตช้า ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเปปโตนเป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เชื้อเห็ดจึงนำไปใช้ได้ยาก (Schnitzler, 2000) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อเห็ดตับเต่าไม่สามารถเจริญเติบโตได้บนอาหารที่เติมยูเรีย [$CO(NH_2)_2$] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ยูเรียมีไนโตรเจนสูงเกินไป (46%) สอดคล้องกับรายงานของ Brundrett *et al*. (1996) กล่าวว่า เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาส่วนมากไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง

เมื่อเชื้อเห็ดตับเต่ามีอายุ 12 และ 18 วัน พบว่า การเติมแอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนียม-ฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต ส่งผลให้เชื้อเห็ดดังกล่าวเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และไม่แตกต่างจาก control เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 2) เนื่องจาก control มีไนโตรเจนซึ่งได้จากมันฝรั่งและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

จากการสังเกตสี ลักษณะโคโลนี และความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่า control และการเติมเปปโตน ทำให้โคโลนีของเห็ดดังกล่าวมีสีน้ำตาลอมเหลือง และมีความหนาแน่นมากที่สุด ส่วนการเติมแหล่งอนินทรีย์ไนโตรเจนต่าง ๆ ทำให้เส้นใยมีสีขาวอมเหลือง ความหนาแน่นปานกลาง นอกจากนี้ยังพบตุ่มดอกเห็ดขนาดเล็ก รวมทั้งหยดน้ำสีน้ำตาลบนอาหารที่เติมเปปโตน แอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมฟอสเฟต รวมทั้ง control (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาแน่นของโคโลนีเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่เติมแหล่งไนโตรเจนต่าง ๆ ภายหลังการปลูกเชื้อ 6, 12 และ 18 วัน

ชนิดของแหล่งไนโตรเจน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (วัน)			ความหนาแน่นของเส้นใย [2/]
	6	12	18	
ไม่เติมแหล่งไนโตรเจน (control)	3.20 c	8.04 b	9.00 a	++++
ยูเรีย	0.50 e	0.50 d	0.50 d	ไม่เจริญ
เปปโตน	3.25 c	6.97 c	8.36 b	++++
แอมโมเนียมไนเตรท	4.22 a	8.99 a	9.00 a	++
แอมโมเนียมซัลเฟต	3.86 b	8.64 a	9.00 a	++
แอมโมเนียมฟอสเฟต	4.44 a	9.00 a	9.00 a	++
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	2.32 d	6.72 c	7.86 c	+++
F-test	**	**	**	
% C.V.	9.56	6.11	5.76	

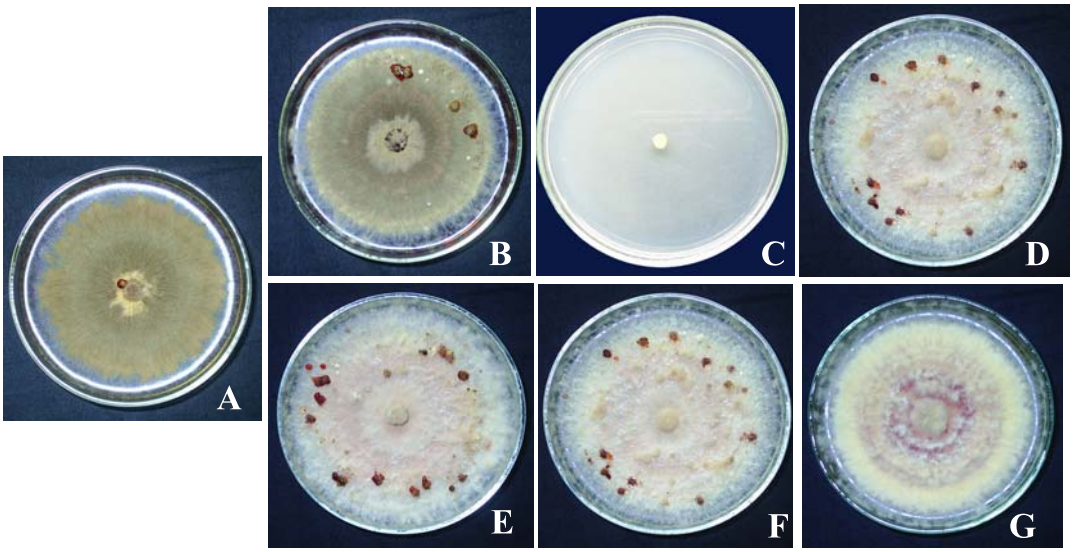
หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

[2/] ความหนาแน่นของเส้นใย

++++ หนาแน่นมากที่สุด ++ หนาแน่นปานกลาง

+++ หนาแน่นมาก + หนาแน่นน้อย



ภาพที่ 2 ลักษณะโคโลนี สี และระดับความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่เติมแหล่งไนโตรเจนต่าง ๆ อายุ 18 วัน

A) ไม่เติมแหล่งไนโตรเจน (control)

B) เปปโตน

C) ยูเรีย

D) แอมโมเนียมไนเตรท

E) แอมโมเนียมซัลเฟต

F) แอมโมเนียมฟอสเฟต

G) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต

การทดลองที่ 1.3 ศึกษาผลของระดับ pH ที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า

การทดลองเลี้ยงเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่ระดับ pH ต่าง ๆ พบว่า ในช่วง 3 วันแรก เชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหารทุกระดับ pH มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีไม่แตกต่างกัน และเมื่อเชื้อเห็ดอายุ 12 วัน พบว่า pH ต่ำ (pH 5 และ 5.5) และ pH สูง (pH 7-8) ส่งผลให้เชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน และดีกว่า pH 6 (control) และ 6.5 แสดงให้เห็นว่าเชื้อเห็ดตับเต่าสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่เป็นกรดและด่าง ซึ่ง Yamanaka (2003) พบว่า เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซา เช่น *Amanita rubescens*, *Lyophyllum semilele* และ *Suillus luteus* เจริญเติบโตได้ดีในอาหารเหลวที่ระดับ pH 5-6 นอกจากนี้เชื้อเห็ดตับเต่าอาจเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ pH ต่ำกว่า 5 ได้ ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพธรรมชาติเชื้อราดังกล่าวสามารถผลิตกรดอินทรีย์ เช่น กรดออกซาลิก (oxalic), ซิตริก (citric), ชิคิมิก (shikimic), แลกติก (lactic), อะซิติก (acetic) และ ฟูมาริก (fumaric) ออกมาบริเวณรอบเส้นใย ส่งผลให้เชื้อราสามารถทนทานต่อสภาพที่เป็นกรดได้ดีขึ้น (Kumar and Satyanarayana, 2002; Ulla *et al*., 2000) สอดคล้องกับการทดลองของ Erland and Soderstrom (1990) พบว่าเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาบริเวณรากต้นกล้า *Pinus sylvestris* L. เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH 4 ถึง 5 และเจริญเติบโตลดลงเมื่อ pH เข้าใกล้ 7

จากการสังเกตสี ลักษณะโคโลนี และความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่าโคโลนีของเห็ดดังกล่าวมีสีน้ำตาลอมเหลือง และมีความหนาแน่นปานกลางเหมือนกันทุกทรีทเมนต์ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 3)

ตารางที่ 3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความหนาแน่นของโคโลนีเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่ระดับ pH ต่าง ๆ ภายหลังการปลูกเชื้อ 3, 6, 9 และ 12 วัน

ระดับ pH	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (วัน)				ความหนาแน่นของเส้นใย [2/]
	3	6	9	12	
5.0	1.33	4.04 ab	6.93 b	8.81 a	+++
5.5	1.17	3.85 bc	6.83 bc	8.83 a	+++
6.0 (control)	1.19	3.69 c	6.51 d	7.77 c	+++
6.5	1.31	3.96 abc	6.67 cd	8.19 b	+++
7.0	1.32	4.17 a	7.15 a	8.90 a	+++
7.5	1.36	4.06 ab	6.82 bc	8.62 a	+++
8.0	1.28	4.01 ab	6.87 bc	8.73 a	+++
F-test	ns	*	**	**	
% C.V.	20.39	7.48	3.14	4.05	

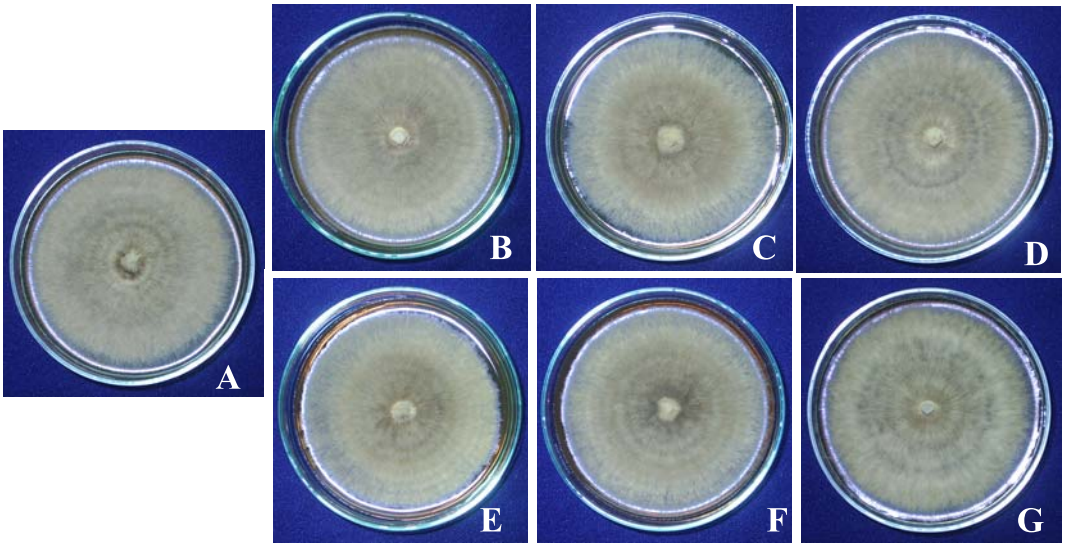
หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

[2/] ความหนาแน่นของเส้นใย

++++ หนาแน่นมากที่สุด ++ หนาแน่นปานกลาง

+++ หนาแน่นมาก + หนาแน่นน้อย



ภาพที่ 3 ลักษณะโคโลนี สี และระดับความหนาแน่นของเชื้อเห็ดตับเต่าบนอาหาร PDA ที่ระดับ pH ต่าง ๆ อายุ 12 วัน

A) pH 5.0

B) pH 5.5

C) pH 6.0 (control)

D) pH 6.5

E) pH 7.0

F) pH 7.5

G) pH 8.0

จากการศึกษาแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า สรุปได้ว่า ฟรุคโตสเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมที่สุดในระยะแรกของการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า โดยโคโลนีของเชื้อเห็ดดังกล่าวมีขนาดใหญ่สุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการเติมกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส แมนนิทอล และ soluble starch ส่งผลให้เชื้อเห็ดตับเต่ามีโคโลนีขนาดใหญ่สุดไม่แตกต่างกัน แต่ความหนาแน่นของเส้นใย แตกต่างกัน กล่าวคือ การใช้กลูโคส และ soluble starch ส่งผลให้เส้นใยมีความหนาแน่นมาก ในขณะที่การเติมฟรุคโตส ซูโครส และแมนนิทอล ทำให้เส้นใยมีความหนาแน่นปานกลาง ซึ่งเป็นเส้นใยที่เหมาะต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า คือ แอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนียมฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ส่งผลให้เชื้อเห็ดตับเต่ามีโคโลนีขนาดใหญ่สุด และมีความหนาแน่นปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่าคือ 5.0, 5.5, 7.0, 7.5 และ 8.0 ซึ่งส่งผลให้เชื้อเห็ดมีโคโลนีใหญ่สุด และมีความหนาแน่นมาก แสดงให้เห็นว่าเชื้อเห็ดตับเต่าสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในสภาพที่เป็นกรดและด่าง และมีแนวโน้มว่าเชื้อเห็ดดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มี pH ต่ำกว่า 5 และสูงกว่า 8

การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการปลูก และปริมาณหัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส

1. เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัส พบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ มีเชื้อเห็ดดังกล่าวเข้าอยู่อาศัยในรากมากกว่าต้นกล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (control) โดยในเดือนแรกนั้น ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีการจุ่มรากในเส้นใยแขวนลอยมีเชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอยู่อาศัยในรากสูงสุด คือ 68.5% รองลงมา คือ การใช้หัวเชื้อเห็ด 20, 40 และ 60 กรัม (50.7, 44.8 และ 33.8% ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยแขวนลอยผ่านการบด มีขนาดเล็ก และพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงมีโอกาสเกาะติดกับรากมากกว่าการใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีพื้นที่สัมผัสกับรากน้อย นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดดังกล่าวลดลงตามปริมาณของหัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่เพิ่มขึ้น ส่วนในเดือนที่ 4 พบว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัย แต่การเจริญของเชื้อเห็ดในรากมีแนวโน้มลดลงตามอายุของต้นกล้าที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น รากเจริญแผ่ขยายออกนอกตุ้มรากเร็วกว่าเชื้อเห็ดซึ่งมีมากบริเวณรอบตุ้มราก รากสัมผัสกับเชื้อน้อย ดังนั้นการสุ่มตรวจตัวอย่างรากบริเวณนอกตุ้มรากจึงพบเชื้อเห็ดเข้าอาศัยน้อย (ตารางที่ 4, ภาพที่ 4)

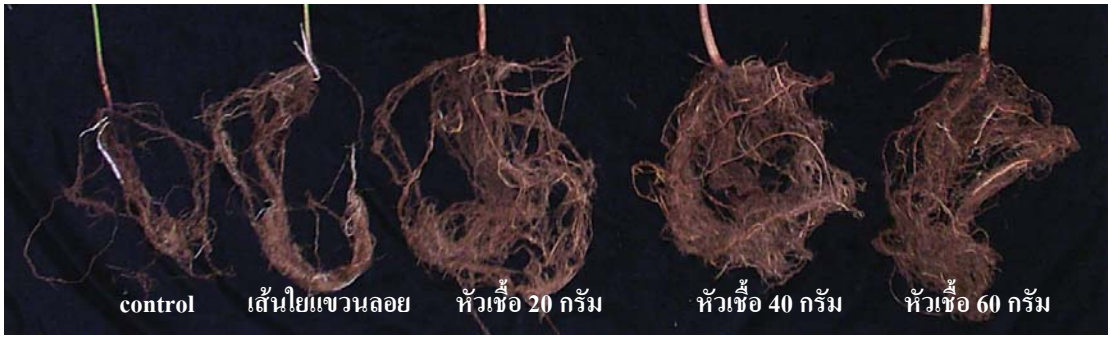
ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า (%)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ (control)	0.0 c	0.0 b	0.0 c	0.0
เส้นใยแขวนลอย	68.5 a	36.6 a	34.1 a	38.2
หัวเชื้อ 20 กรัม	50.7 b	30.0 a	20.4 b	28.8
หัวเชื้อ 40 กรัม	44.8 b	40.4 a	31.3 a	38.0
หัวเชื้อ 60 กรัม	33.8 b	29.5 a	25.6 ab	23.6
F-test	*	*	*	ns
% C.V.	17.0	32.9	17.7	41.6

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

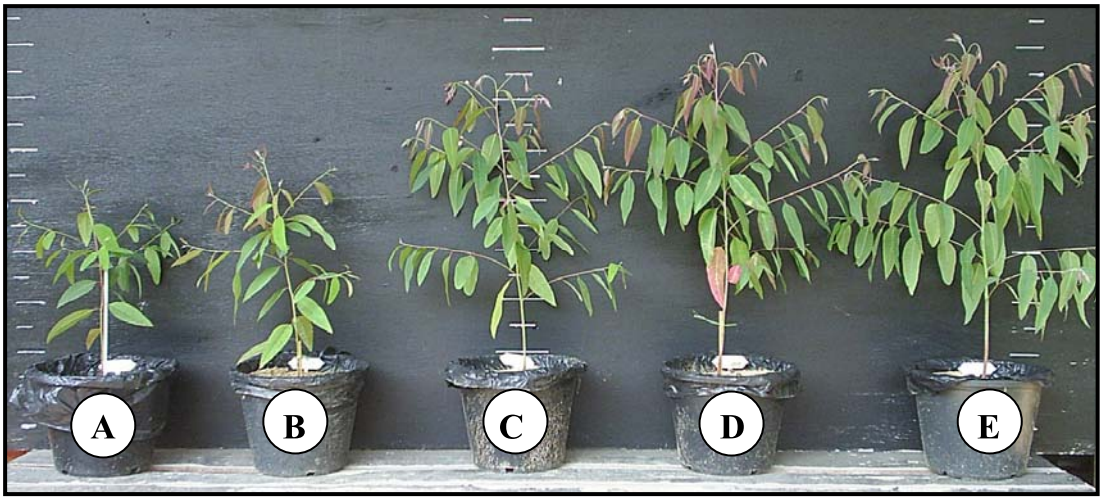


ภาพที่ 4 ลักษณะรากของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

2. การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่า ในเดือนแรก ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยวิธีการจุ่มรากในเส้นใยแขวนลอย และการใช้หัวเชื้อเห็ด 20 กรัม มีความสูงมากสุด และไม่แตกต่างจาก control อีกทั้งยังพบว่าเมื่อใช้หัวเชื้อปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ต้นกล้ามีความสูงลดลง เนื่องจากรากของต้นกล้าถูกห่อหุ้มด้วยหัวเชื้อข้าวฟ่างอย่างหนาแน่น ทำให้รากแทงทะลุออกมาสัมผัสกับวัสดุปลูกได้ยาก ส่วนตั้งแต่เดือนที่ 2 ถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้หัวเชื้อเห็ดทุกอัตราส่งผลให้ต้นกล้ามีความสูงมากสุด และมีแนวโน้มว่าความสูงของต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเชื้อเห็ด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหัวเชื้อดังกล่าวช่วยให้รากดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น (Pope, 1993) ส่งผลให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้เส้นใยแขวนลอยส่งผลให้ต้นกล้ามีความสูงน้อยสุด แต่ไม่แตกต่างจาก control (ภาพที่ 5 และ 6A, ตารางผนวกที่ 1) ทั้ง ๆ ที่เชื้อเห็ดเข้าอยู่อาศัยภายในรากค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณเชื้อเห็ดจากเส้นใยแขวนลอยมีน้อย รวมทั้งมีความแข็งแรง และมีชีวิตน้อยกว่าหัวเชื้อข้าวฟ่าง สอดคล้องกับการทดลองของ Brundrett *et al*. (2005) พบว่าการปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยให้แก่กล้าไม้โดยตรงมักไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากเส้นใยอาจสูญเสียความสามารถในการเจริญเติบโต หรือมีประสิทธิภาพในการอยู่อาศัยร่วมกับรากพืชลดลง

ความกว้างทรงพุ่ม พบว่าในเดือนแรก การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่มีผลต่อความกว้างทรงพุ่มของต้นกล้ายูคาลิปตัส แต่เริ่มเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน ตั้งแต่เดือนที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยการใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรามีความกว้างมากสุด และมีแนวโน้มว่าความกว้างของต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหัวเชื้อเห็ดเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 5 และ 6B, ตารางผนวกที่ 1)



ภาพที่ 5 การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับการปลูกหัวเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

A) ไม่ปลูกเชื้อ (control)

B) เส้นใยแขวนลอย

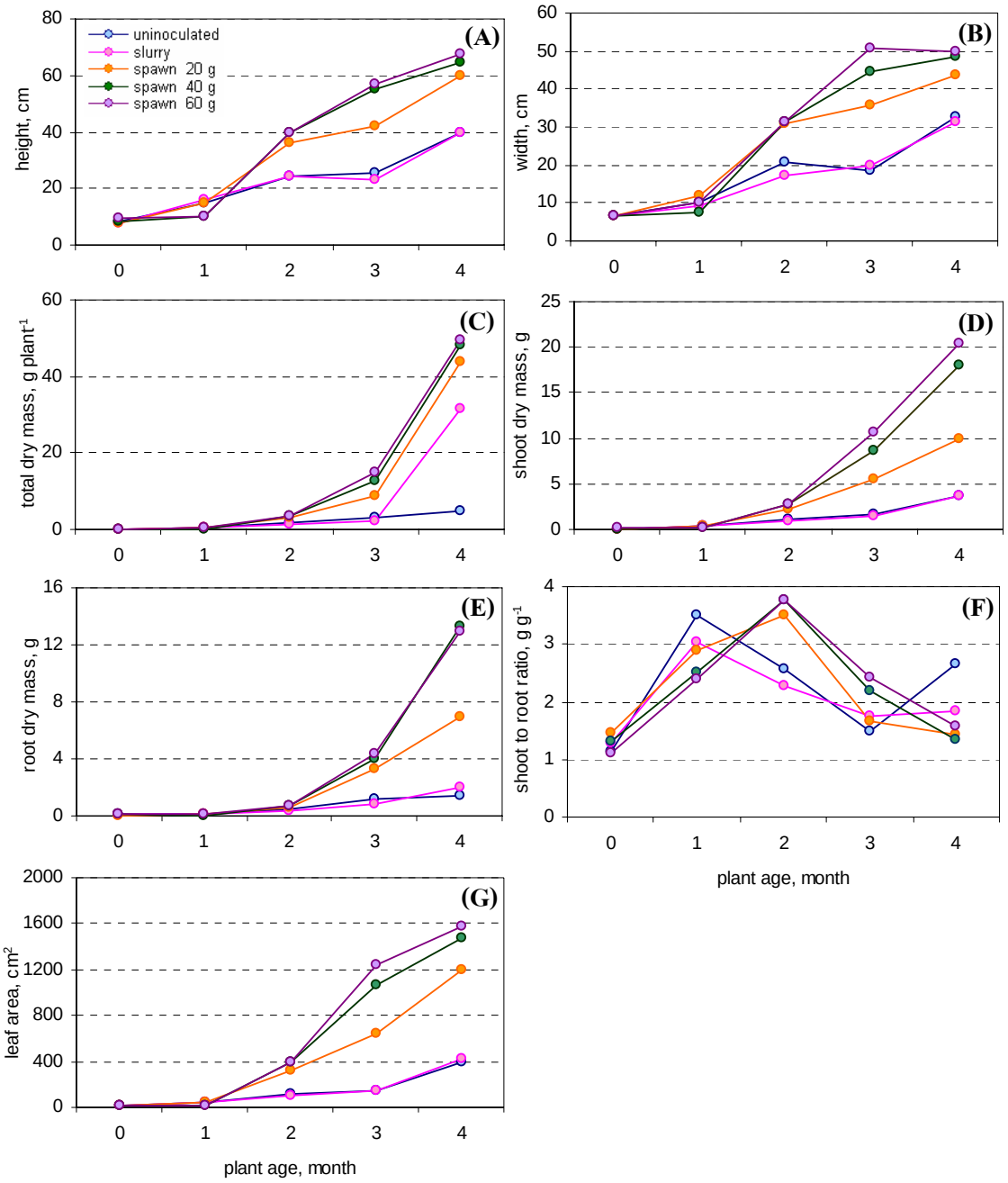
C) หัวเชื้อ 20 กรัม

D) หัวเชื้อ 40 กรัม

E) หัวเชื้อ 60 กรัม

มวลชีวภาพของต้นกล้ายูคาลิปตัสสามารถบอกถึงอัตราการเจริญเติบโต และผลกระทบของวิธีการปลูกเชื้อที่มีต่อการพัฒนาของต้นกล้ายูคาลิปตัส ซึ่งพิจารณาจากมวลแห้งรวมของทั้งต้น และมวลแห้งในแต่ละส่วนของต้น โดยแยกเป็นส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน พบว่ามวลแห้งรวมทั้งต้น มวลแห้งในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยหัวเชื้อข้าวฟ่าง 60 กรัม มีค่ามากสุด ขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยแขวนลอย และ control มีค่าน้อยสุด (ภาพที่ 6C, 6D และ 6E, ตารางผนวกที่ 2 และ 3) เมื่อพิจารณาสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (shoot to root ratio, S/R) พบว่าการใช้เส้นใยแขวนลอย และ control ทำให้ต้นกล้ามีค่า S/R สูงขึ้นในเดือนแรก ลดลงในเดือนที่ 2 และ 3 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสุดท้าย ส่วนการใช้หัวเชื้อ-ข้าวฟ่างทุกอัตรา ทำให้ต้นกล้ามีค่า S/R เพิ่มขึ้น ในช่วง 2 เดือนแรก และลดลงในช่วง 2 เดือนหลัง (ภาพที่ 6F, ตารางผนวกที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากค่า S/R ที่สูงนั้นแสดงว่า ต้นกล้ามีการนำสารประกอบ-คาร์บอนไปใช้ในการสร้างส่วนเหนือดินมากกว่าส่วนใต้ดิน แต่จากการทดลองพบว่า มวลแห้งรวมและมวลแห้งในแต่ละส่วนของต้นกล้าที่ปลูกเชื้อโดยการใช้เส้นใยแขวนลอย และ control มีค่าน้อยสุด แต่มีค่า S/R สูง ทั้งนี้เนื่องจากมวลแห้งของรากในทรีทเมนต์ดังกล่าวมีค่าน้อย ซึ่งระบบรากเล็กอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส จึงส่งผลให้มีการสร้างส่วนยอดน้อยตามไปด้วย

พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น พบว่า ในเดือนแรกของการเจริญเติบโต วิธีการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าไม่มีผลต่อพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัส แต่เริ่มเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในเดือนที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองโดยต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยหัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรามีพื้นที่ใบมากสุด (ภาพที่ 6G, ตารางผนวกที่ 4)



ภาพที่ 6 การเจริญเติบโต (A) ความสูงต้นเฉลี่ย (B) ความกว้างต้นเฉลี่ย (C) มวลแห้งรวมทั้งต้นเฉลี่ย (D) มวลแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย (E) มวลแห้งส่วนใต้ดินเฉลี่ย (F) สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน และ (G) พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

จากการคำนวณองค์ประกอบการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่า

ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index: LAI) ซึ่งเป็นค่าดัชนีบ่งบอกถึงปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การเจริญเติบโตของพืช โดยพบว่าการใช้เส้นใยแขวนลอย และ control ทำให้ต้นกล้ายูคาลิปตัสมีค่า LAI สูงในเดือนแรก และลดลงในช่วง 3 เดือนสุดท้าย ส่วนการใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรานั้น ทำให้ต้นกล้ามีค่า LAI เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าการใช้หัวเชื้อ 60 กรัม ส่งผลต้นกล้ามีค่า LAI สูงสุด แสดงให้เห็นว่าการใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตราช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ดี โดยต้นกล้ามีพื้นที่ใบในการรับแสงต่อหน่วยพื้นที่ใบมาก และมีแนวโน้มว่าค่า LAI เพิ่มขึ้นตามปริมาณของเชื้อเห็ด (ภาพที่ 7A, ตารางผนวกที่ 5)

สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (Leaf Area Ratio: LAR) ในเดือนแรก พบว่าต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยแขวนลอย และ control มีค่า LAR สูงสุด ไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ใช้หัวเชื้อเห็ด 20 กรัม สอดคล้องกับค่า LAI ส่วนในเดือนที่ 2 พบว่าต้นกล้าที่ใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรามีค่า LAR สูงสุด และค่า LAR ลดลงเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น และในเดือนที่ 4 พบว่าต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยเส้นใยแขวนลอย และ control มีค่า LAR สูงสุด ส่วนการใช้หัวเชื้อทุกอัตราส่งผลให้ต้นกล้ามีค่า LAR ลดลง เนื่องจากอาหารที่เก็บสะสมถูกนำไปใช้สร้างส่วนของลำต้นและรากมากกว่าใบ ส่งผลให้ต้นกล้ามีพื้นที่ใบน้อยกว่ามวลแห้งรวม (ภาพที่ 7B, ตารางผนวกที่ 5)

อัตราการเจริญเติบโต (Crop Growth Rate: CGR) เป็นดัชนีบ่งบอกอัตราการสะสมน้ำหนักของพืชต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยมวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสและระยะเวลาปลูก จากการทดลองพบว่า มวลแห้งรวมของต้นกล้ามีอัตราการเพิ่มแบบยกกำลัง โดยมวลเพิ่มอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก และเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนสุดท้าย (ภาพที่ 6E) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบฟังก์ชั่นเอ็กซ์โพเนนเชียล (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งรวม (Md) กับระยะเวลาปลูก (t) ของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ

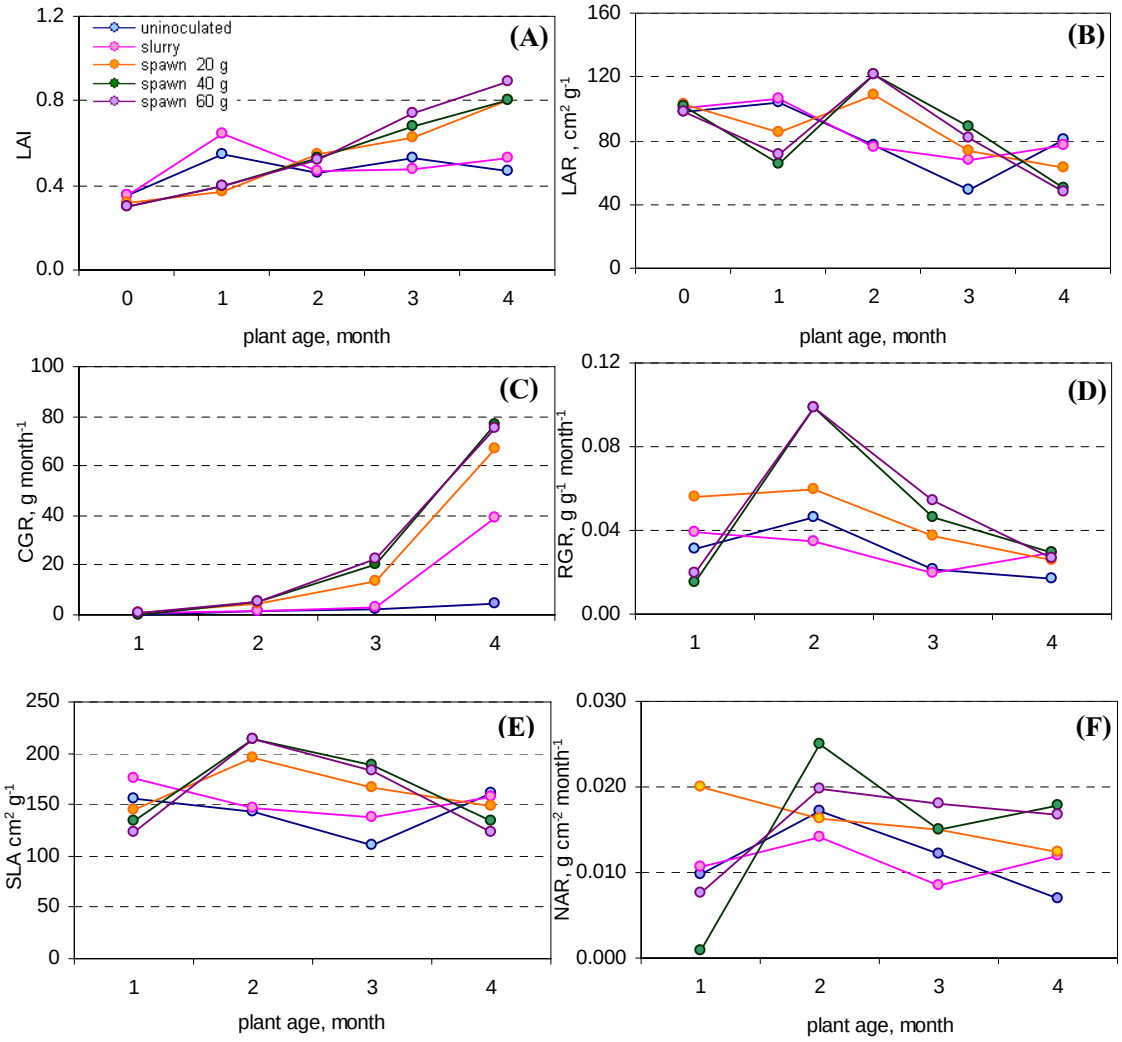
วิธีการปลูกเชื้อ	Function	R^2
ไม่ปลูกเชื้อ	$Md = 0.073e^{0.8945t}$	0.97
เส้นใยแขวนลอย	$Md = 0.0325e^{1.2526t}$	0.94
หัวเชื้อ 20 กรัม	$Md = 0.0225e^{1.5253t}$	0.99
หัวเชื้อ 40 กรัม	$Md = 0.0189e^{1.5860t}$	0.94
หัวเชื้อ 60 กรัม	$Md = 0.0282e^{1.5169t}$	0.97

เมื่อนำค่าคงที่สะท้อนอัตราเร็วของการเพิ่มมวลแห้งรวมที่ได้จากความสัมพันธ์มาคำนวณหาค่า CGR พบว่าค่า CGR ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น ตั้งแต่เดือนที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกล้าที่ใช้หัวเชื้อ 40 และ 60 กรัม มีค่า CGR สูง แต่ไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ใช้หัวเชื้อเห็ด 20 กรัม และมีแนวโน้มว่าค่า CGR เพิ่มขึ้นตามปริมาณของเชื้อเห็ด แสดงว่าการใช้หัวเชื้อปริมาณมาก ทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตดี และสะสมอาหารไว้ในส่วนต่าง ๆ ในรูปของมวลแห้งรวมได้สูงกว่าการที่ใช้เส้นใยแขวนลอย และ control (ภาพที่ 7C, ตารางผนวกที่ 6)

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate: RGR) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชต่อหนึ่งหน่วยเวลา (Hunt, 1990) ซึ่งพบว่าต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ มีค่า RGR สูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต และค่า RGR ลดลงเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น โดยต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยการใช้หัวเชื้อ 60 กรัมมีค่า RGR สูงสุด และมีแนวโน้มว่าค่า RGR เพิ่มขึ้นตามปริมาณของหัวเชื้อเห็ด แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยการใช้หัวเชื้อทุกอัตรามีประสิทธิภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งสูงสุด เนื่องจากเชื้อเห็ดบริเวณรากช่วยดูดซับน้ำ และธาตุอาหารให้แก่ต้นกล้าเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และสังเคราะห์แสง (ภาพที่ 7D, ตารางผนวกที่ 6)

สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ (Specific leaf Area: SLA) แสดงผลสอดคล้องกับค่า LAR โดยค่า SLA ต่ำ แสดงว่าแผ่นใบหนา ส่งผลให้การรับแสงต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลง (Vlahos *et al*., 1991) จากการวิเคราะห์พบว่าต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ใช้เส้นใยแขวนลอย และ control มีค่า SLA สูงสุด ไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ใช้หัวเชื้อเห็ด 20 กรัม เนื่องจากเซลล์ภายในใบมีการแบ่งตัวและขยายขนาดมากขึ้น ส่งผลให้ใบบางลง ค่า SLA จึงสูง ส่วนในเดือนที่ 2 และ 3 พบว่าต้นกล้าที่ใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรามีค่า SLA สูงสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าต้นกล้าที่ใช้เส้นใยแขวนลอย และ control มีค่า SLA สูงสุด ส่วนการใช้หัวเชื้อเห็ดทุกอัตราส่งผลให้ต้นกล้ามีค่า SLA ลดลง เนื่องจากใบมีการขยายตัวเต็มที่แล้ว จึงเริ่มเก็บสะสมอาหารไว้ในรูปของมวลแห้งภายในใบ ทำให้ SLA ต่ำ (ภาพที่ 7E, ตารางผนวกที่ 7)

ค่า Net Assimilation Rate (NAR) เป็นดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของใบ ถ้าค่า NAR มีค่าสูงแสดงว่า ใบสามารถสังเคราะห์แสงได้สูง (Nilwik, 1981) จากการทดลองพบว่าต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ มีค่า NAR ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.03 กรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อเดือน แต่มีแนวโน้มว่าค่า NAR เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนที่ 2 และลดลงเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น (ภาพที่ 7F, ตารางผนวกที่ 7)



ภาพที่ 7 องค์ประกอบการเจริญเติบโต (A) ดัชนีพื้นที่ใบ (B) อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (C) อัตราการเจริญเติบโต (D) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (E) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ และ (F) ค่า Net Assimilation Rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

3. ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัส คือลำต้นและใบ โดยใช้มวลแห้งรวมทั้งต้นเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก ซึ่งความเข้มข้นของธาตุอาหารเฉลี่ยของส่วนเหนือดิน คำนวณจากปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด ซึ่งเป็นผลคูณของความเข้มข้นของธาตุอาหารจากการวิเคราะห์กับมวลแห้งของส่วนเหนือดิน และหารด้วยมวลแห้งรวมของทั้งต้น พบว่า การปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ ส่งผลให้ต้นกล้ายูคาลิปตัสมีความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนเหนือดินแตกต่างกัน กล่าวคือต้นกล้าที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อมีความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูงสุด เท่ากับ 1.2% และ 0.5% ตามลำดับ ส่วนการใช้หัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรา ทำให้ต้นกล้ามีความเข้มข้นของโพแทสเซียมต่ำสุด (0.3%) นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกล้ามีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน (0.2%) (ตารางที่ 6)

ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักที่ปรากฏอยู่ในต้น สะท้อนถึงปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของส่วนเหนือดิน โดยพบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสมีการดูดใช้ไนโตรเจนมากสุด รองลงมาคือโพแทสเซียม (ตารางที่ 7) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้หัวเชื้อข้าวฟ่าง 40 และ 60 กรัม ส่งผลให้ต้นกล้าสามารถดูดใช้ธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิดได้มากกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	ความเข้มข้นเฉลี่ยเชิงมวลของส่วนเหนือดิน (% มวลแห้ง) [1/]		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ไม่ปลูกเชื้อ	1.2 a	0.2	0.5 a
เส้นใยแขวนลอย	1.0 b	0.2	0.4 a
หัวเชื้อ 20 กรัม	0.7 c	0.2	0.3 b
หัวเชื้อ 40 กรัม	0.7 c	0.2	0.3 b
หัวเชื้อ 60 กรัม	0.9 bc	0.2	0.3 b
F-test	*	ns	*
% C.V.	12.6	31.0	17.5

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในส่วนเหนือดิน (กรัม) [1/]		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ไม่ปลูกเชื้อ	8.2 d	1.7 c	3.8 c
เส้นใยแขวนลอย	46.7 d	9.1 c	22.2 c
หัวเชื้อ 20 กรัม	61.6 c	11.8 b	20.1 b
หัวเชื้อ 40 กรัม	60.9 b	13.5 a	20.8 a
หัวเชื้อ 60 กรัม	69.0 a	11.9 a	21.3 a
F-test	**	**	**
% C.V.	11.9	15.7	19.6

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ในเดือนแรกต้นกล้าที่ได้รับการปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใย-แขวนลอยมีเชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอยู่อาศัยในรากสูงสุด และในเดือนที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าให้แก่ต้นกล้ายูคาลิปตัสทุกวิธี ทำให้ต้นกล้าดังกล่าวมีเชื้อเห็ดเข้าอยู่อาศัยในรากไม่แตกต่างกัน และการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดมีแนวโน้มลดลงเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น

เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสพบว่า ในเดือนแรกต้นกล้าดังกล่าวที่ได้รับการปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยแขวนลอย และ control มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และความกว้างมากสุด ส่วนมวลแห้งเหนือดิน มวลแห้งใต้ดิน มวลแห้งรวมทั้งต้น และพื้นที่ใบมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนในเดือนที่ 2 ถึงสิ้นสุดการทดลองพบว่าต้นกล้าที่ได้รับการปลูกเชื้อโดยใช้หัวเชื้อข้าวฟ่าง 40 และ 60 กรัม มีการเจริญเติบโตทางด้านต่าง ๆ สูงสุด เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบการเจริญเติบโตพบว่า ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยหัวเชื้อทุกอัตรามีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน โดยค่า LAI, CGR, RGR ต่ำ ในระยะแรก และค่าดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่า LAR และ SLA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะแรก และลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง สำหรับค่า NAR มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกล้าที่ปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยแขวนลอยและ control มีค่า LAI และ LAR สูงในระยะแรก และลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่าองค์ประกอบการเจริญเติบโตอื่น ๆ นั้น พบว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัส โดยใช้มวลแห้งรวมเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นกล้ายูคาลิปตัสไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ และต้นกล้าที่ปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยแขวนลอยมีความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูงสุด แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดิน พบว่าการใช้หัวเชื้อข้าวฟ่าง 40 และ 60 กรัม ส่งผลให้ต้นกล้าดังกล่าวมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุด

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของชุดดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า

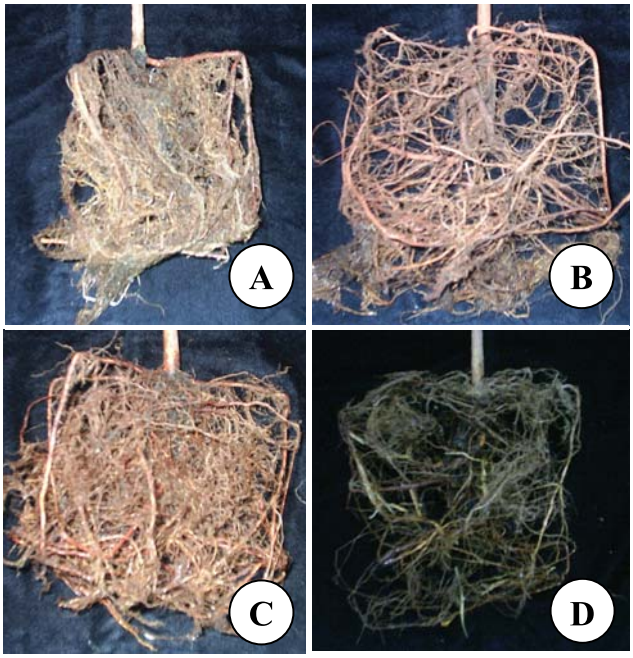
1. เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสซึ่งปลูกในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน พบว่าเชื้อเห็ดดังกล่าวเข้าอยู่อาศัยในรากของต้นกล้ายูคาลิปตัสไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ (ตารางที่ 8, ภาพที่ 8) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณธาตุอาหาร รวมทั้ง pH ของดินทุกชุดมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า แต่มีแนวโน้มว่าเชื้อเห็ดดังกล่าวเจริญเติบโตได้ดีทั้งในชุดดินปากช่องซึ่งเป็นดินกรด มี pH 4.5 และชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็นดินเค็มโซดิก (ดินที่มีค่านำไฟฟ้า; EC มากกว่า 5 dS m^{-1}) สอดคล้องกับการทดลองเบื้องต้น ซึ่งพบว่าเชื้อเห็ดตับเต่าสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งสภาพที่เป็นกรด (pH 5.0 และ 5.5) ส่วนในชุดดินกำแพงแสนนั้นพบว่าการรดน้ำให้แก่ต้นกล้าที่ปลูกในดินเค็มอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้ปริมาณเกลือในดินถูกชะล้างออก ทำให้ความเค็มในดินลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ซึ่งพิจารณาได้จากค่า EC ของดินลดลงจาก 28.2 dS m^{-1} เหลือเพียง 1.6 dS m^{-1} เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังนั้นเชื้อเห็ดตับเต่าจึงไม่ได้รับผลกระทบจากความเค็มของดิน ส่งผลให้เข้าอาศัยในรากพืชได้ดี (ตารางผนวกที่ 15)

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า (%) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)	
	2	4
ทราย (control)	19.7	38.9
ปากช่อง	16.3	44.5
ตาคลี	16.8	37.1
กำแพงแสน	20.5	39.2
F-test	ns	ns
% C.V.	14.2	12.2

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

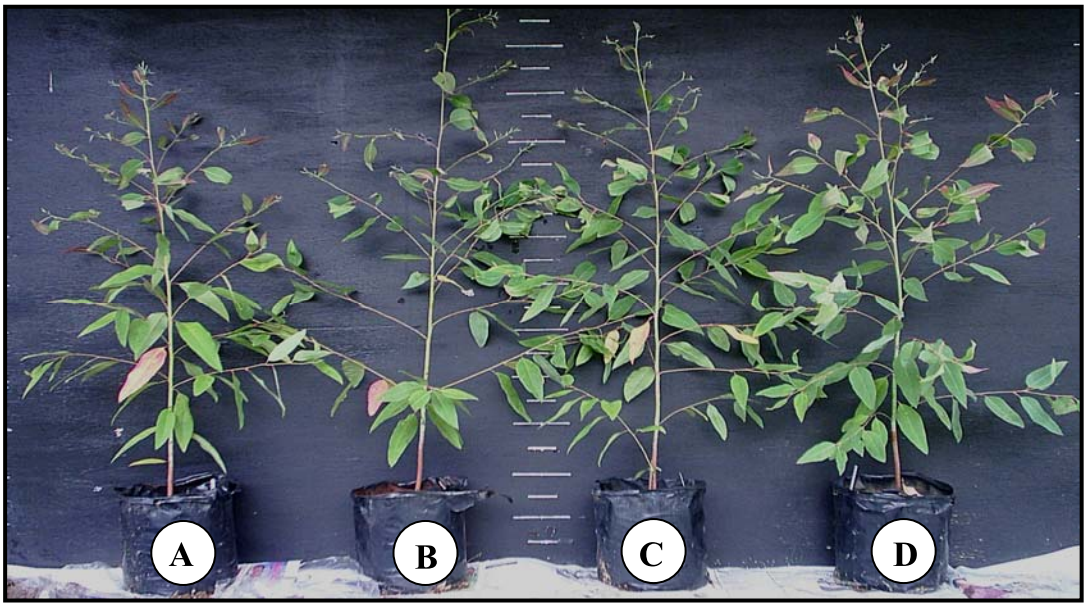


ภาพที่ 8 ลักษณะรากของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าใน (A) ทราย (B) ชุดดินปากช่อง (C) ชุดดินตาคลี และ (D) ชุดดินกำแพงแสน อายุ 4 เดือน

2. การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ พบว่า ต้นกล้าดังกล่าวที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในทุกชุดดิน มีความสูงมากกว่าต้นกล้าที่ปลูกในทราย (control) (ภาพที่ 9 และ 10A, ตารางผนวกที่ 8) ทั้งนี้เป็นเพราะมีเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาณมากบริเวณราก ช่วยให้รากดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ดีขึ้น จากการทดลองของธิดารัตน์ (2547) พบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินตาคลีซึ่งเป็นดินด่าง มักเจริญเติบโตช้า และแสดงอาการขาดคลอโรฟิล เนื่องจากฟอสเฟตถูกตรึงให้อยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียม-ฟอสเฟต และเกลือคาร์บอเนต ซึ่งเป็นรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้เกลือคาร์บอเนตปริมาณมากยังทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่น ๆ ลดลง แต่จากการทดลองนี้พบว่าต้นกล้าดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติ อาจเป็นเพราะเชื้อเห็ดตับเต่าสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำและพืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย (Lapeyrie and Chilvaers, 1985) รวมทั้งเชื้อเห็ดตับเต่าสามารถผลิตกรดอินทรีย์ออกมาเพื่อปรับระดับ pH ของดินให้มีค่าลดลงจาก pH 8.2 เป็น pH 7.4 (ตารางผนวกที่ 15) ส่งผลให้ธาตุอาหารอื่น ๆ เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความสูงของต้นกล้าในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น

ส่วนความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินปากช่องและตาคลีนั้นมีค่ามากสุด ในขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนมีความกว้างน้อยไม่แตกต่างจากทราย ทั้งนี้เป็นเพราะการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้รับผลกระทบจากเกลือที่มีอยู่ในดิน ซึ่งเกลือในดินส่งผลให้ดินมีค่า EC สูง (28.2 dS m^{-1}) จึงมีแรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินลดลง ต้นกล้าจึงต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการดึงน้ำในดินมาใช้ในการเจริญเติบโต (อรุณี, ม.ป.ป.) และเนื่องจากต้นกล้ายูคาลิปตัสเป็นพืชทนเค็มมากได้ดี (ตั้งแต่ 8 ถึง 12 dS m^{-1}) ดังนั้นต้นกล้าดังกล่าวจึงเจริญเติบโตได้ดีเฉพาะทางด้านความสูง นอกจากนี้ยังพบว่าความกว้างของต้นกล้าในทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น เช่นเดียวกับความสูง (ภาพที่ 9, 10A และ 10B, ตารางผนวกที่ 8)



ภาพที่ 9 การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส เมื่อได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

A) ทราย (control)

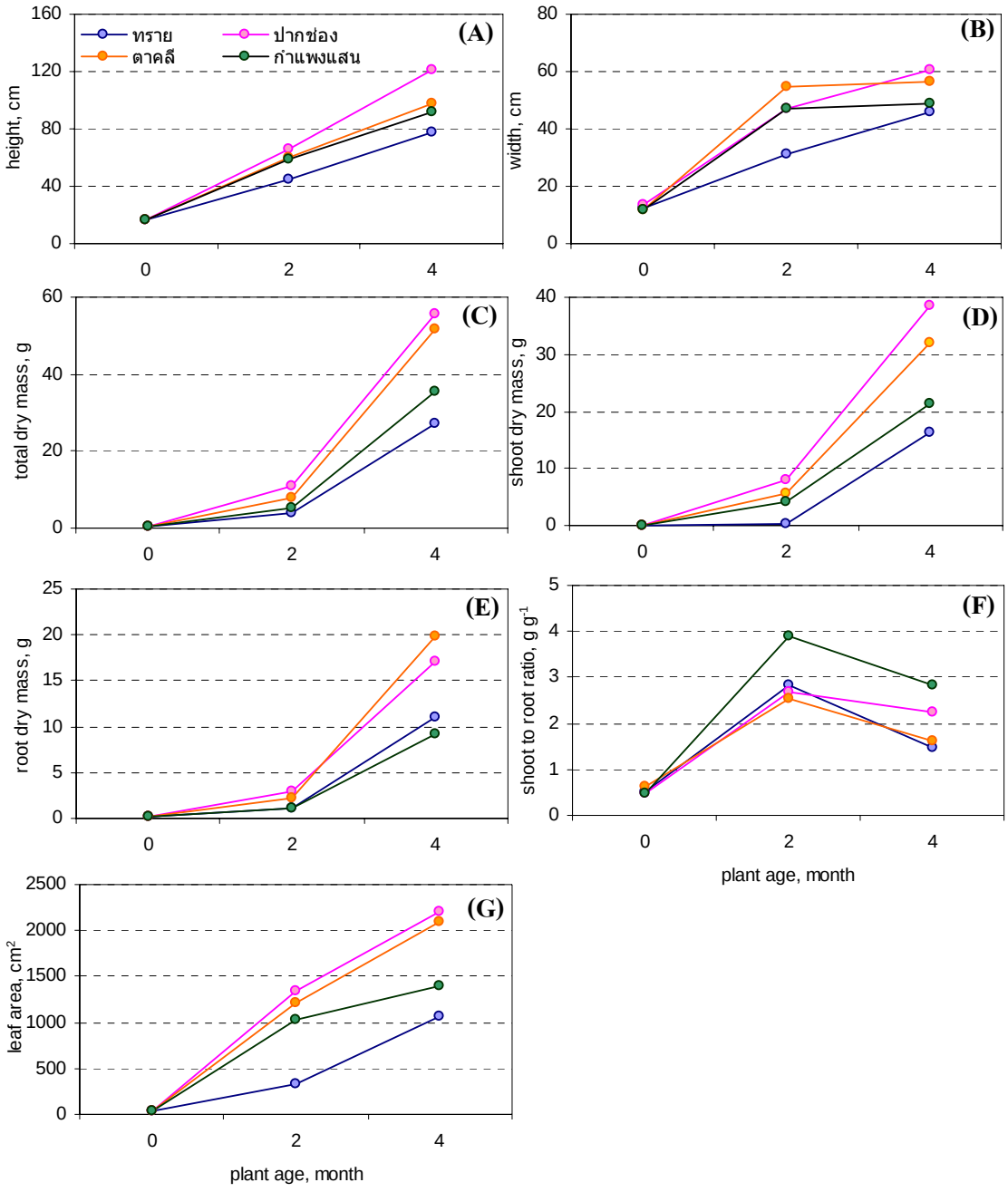
B) ชุดดินปากช่อง

C) ชุดดินตาคลี

D) ชุดดินกำแพงแสน

มวลชีวภาพของต้นกล้ายูคาลิปตัส พบว่าในช่วง 2 เดือนแรก ต้นกล้าดังกล่าวที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในทุกชุดดินมีมวลแห้งรวม และมวลแห้งส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกัน แต่ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อเห็ดในชุดดินปากช่องมีมวลแห้งส่วนใต้ดินสูงสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามวลแห้งรวมของต้นกล้าดังกล่าวที่ปลูกเชื้อในชุดดินปากช่อง และตาคลีมีค่ามากสุด เมื่อเทียบกับ control (ภาพที่ 10C, ตารางผนวกที่ 9) เมื่อพิจารณามวลแห้งในแต่ละส่วนของต้นพบว่า ต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินปากช่องมีมวลแห้งส่วนเหนือดินสูงสุดไม่ต่างจากชุดดินตาคลี ขณะที่มวลแห้ง-ส่วนใต้ดินของต้นกล้าที่ปลูกเชื้อในทุกชุดดินมีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 10D และ 10E, ตารางผนวกที่ 10) นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (S/R) ของต้นกล้าที่ปลูกเชื้อในทุกชุดดินมีค่าไม่แตกต่างกัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 10F, ตารางผนวกที่ 10) ส่วนมวลแห้งรวมของต้นกล้าที่ปลูกเชื้อในทรายมีค่าน้อยกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ แต่ค่า S/R ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะต้นกล้าดังกล่าวมีขนาดเล็ก มวลแห้งส่วนใต้ดินมีค่าน้อยกว่ามวลแห้งส่วนเหนือดิน ส่งผลให้ S/R มีค่าสูง

พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น พบว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินปากช่อง และตาคลีส่งผลให้ต้นกล้ายูคาลิปตัสมีพื้นที่ใบมากสุด (ภาพที่ 10G, ตารางผนวกที่ 11)



ภาพที่ 10 การเจริญเติบโต (A) ความสูงต้นเฉลี่ย (B) ความกว้างต้นเฉลี่ย (C) มวลแห้งรวมของทั้งต้นเฉลี่ย (D) มวลแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย (E) มวลแห้งส่วนใต้ดินเฉลี่ย (F) สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (G) พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

จากการคำนวณองค์ประกอบการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ พบว่าต้นกล้าดังกล่าวในทุกชุดดินมีค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และสัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (LAR) ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 11A และ 11B, ตารางผนวกที่ 12)

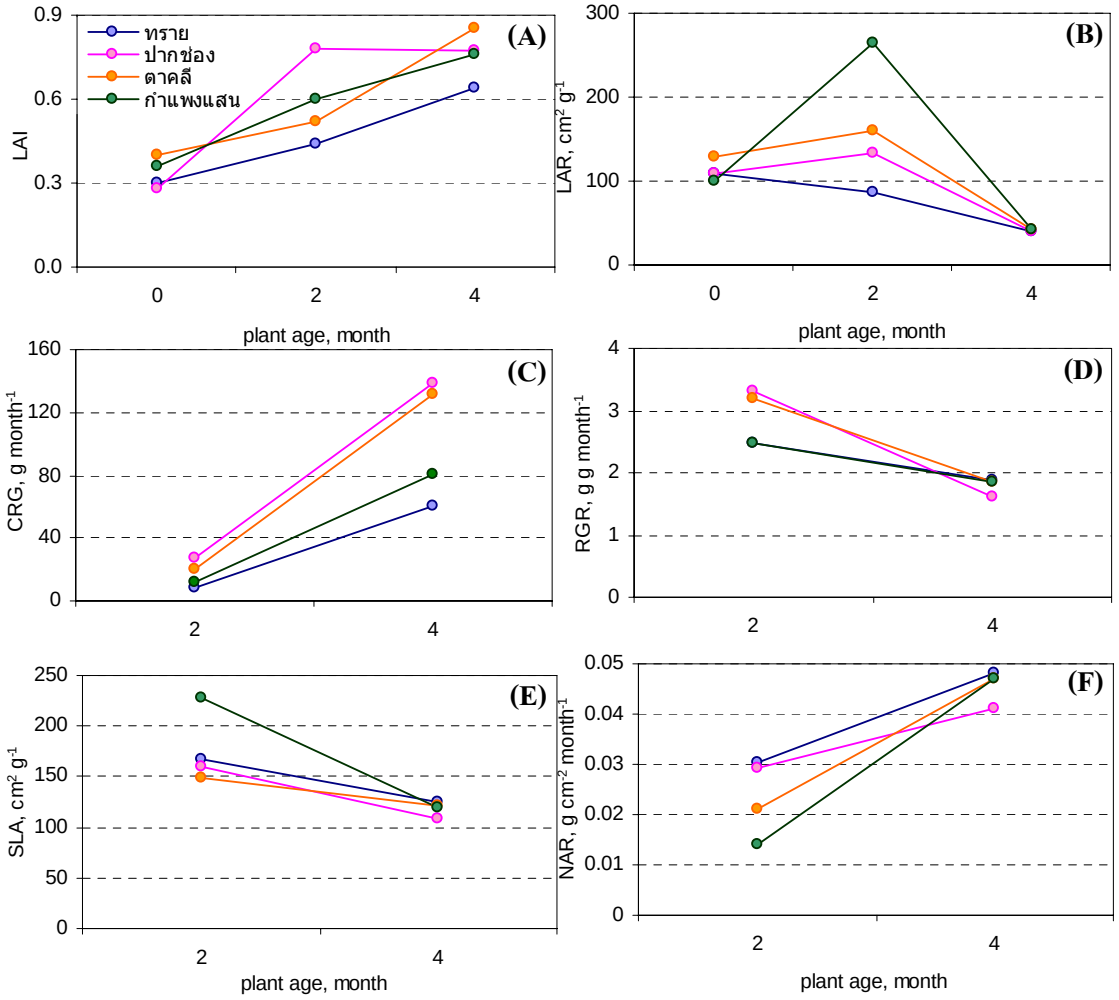
ส่วนอัตราการเจริญเติบโต (CGR) นั้น พบว่ามวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสมีอัตราการเพิ่มแบบยกกำลัง โดยมวลแห้งรวมเพิ่มอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก และเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนสุดท้าย (ภาพที่ 10C) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบฟังก์ชั่นเอ็กซ์โพเนนเชียล (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งรวม (Md) กับระยะเวลาปลูก (t) ของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ

ชุดดิน	Function	R^2
ทราย (control)	$Md = 0.0381e^{2.2199t}$	0.99
ปากช่อง	$Md = 0.0435e^{2.4810t}$	0.96
ตาคลี	$Md = 0.0315e^{2.5425t}$	0.98
กำแพงแสน	$Md = 0.0443e^{2.2687t}$	0.99

เมื่อนำค่าคงที่สะท้อนอัตราเร็วของการเพิ่มมวลแห้งรวมที่ได้จากฟังก์ชั่นข้างต้น มาคำนวณค่า CGR พบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อในชุดดินปากช่อง มีค่า CGR สูงที่สุดในช่วงเดือนสุดท้าย แต่ไม่แตกต่างกับต้นกล้าดังกล่าวที่ปลูกในชุดดินตาคลี และมีแนวโน้มว่าค่า CGR เพิ่มขึ้น เมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น (ภาพที่ 11C, ตารางผนวกที่ 13) และเมื่อคำนวณเป็นอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) พบว่า RGR ในทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 11D, ตารางผนวกที่ 13)

สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งของใบ (SLA) และค่า Net Assimilation Rate (NAR) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในทุกชุดดินมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดการทดลอง (ภาพที่ 11E และ 11F, ตารางผนวกที่ 14) เนื่องจากค่าการเจริญเติบโตที่นำมาวิเคราะห์ เช่น พื้นที่ใบและมวลแห้งรวมของทั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้ายูคาลิปตัสสามารถเจริญเติบโตได้ดีไม่แตกต่างกันในทุกชุดดิน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า LAI, CGR และ NAR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ในขณะที่ค่า LAR, RGR และ SLA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 และลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 11 องค์ประกอบการเจริญเติบโต (A) ดัชนีพื้นที่ใบ (B) อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (C) อัตราการเจริญเติบโต (D) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (E) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ และ (F) ค่า Net Assimilation Rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

3. ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัส โดยใช้มวลแห้งรวมเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก พบว่าต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในชุดดินต่าง ๆ มีความเข้มข้นของไนโตรเจน (0.35% มวลแห้ง) และโพแทสเซียม (0.25% มวลแห้ง)ในส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกัน เนื่องจากต้นกล้าในทุกชุดดินได้รับธาตุอาหารจากวัสดุปลูกอย่างเพียงพอ โดยไนโตรเจนได้รับในรูปของแอมโนเนียมไนเตรททุก 2 สัปดาห์ และโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมซัลเฟต เมื่อเริ่มต้นการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกล้าที่ปลูกในทรายมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินมากที่สุด (0.1% มวลแห้ง) (ตารางที่ 10)

ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักที่ปรากฏอยู่ในต้น พบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสมีการดูดใช้ไนโตรเจนมากสุด รองลงมาคือโพแทสเซียม นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าซึ่งปลูกในชุดดินปากช่องสามารถดูดใช้ธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิดได้มากกว่าชุดดินอื่น ๆ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดิน ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

ชุดดิน	ความเข้มข้นเฉลี่ยเชิงมวลของส่วนเหนือดิน (% มวลแห้ง) [1/]		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ทราย (control)	0.3	0.2 a	0.2
ปากช่อง	0.3	0.1 b	0.3
ตาคลี	0.3	0.1 b	0.2
กำแพงแสน	0.4	0.1 b	0.3
F-test	ns	*	ns
% C.V.	17.4	14.3	19.0

ตารางที่ 11 ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินภายหลังได้รับการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

ชุดดิน	ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในส่วนเหนือดิน (กรัม) [1/]		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ทราย (control)	8.6 c	1.1 b	1.6 c
ปากช่อง	19.6 a	1.6 a	5.4 a
ตาคลี	16.5 ab	1.3 ab	3.8 b
กำแพงแสน	13.8 b	1.0 b	3.6 b
F-test	**	**	**
% C.V.	14.0	14.7	21.1

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในทุกชุดดิน มีเชื้อเห็ดเข้าอยู่อาศัยในรากไม่แตกต่างกัน และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น

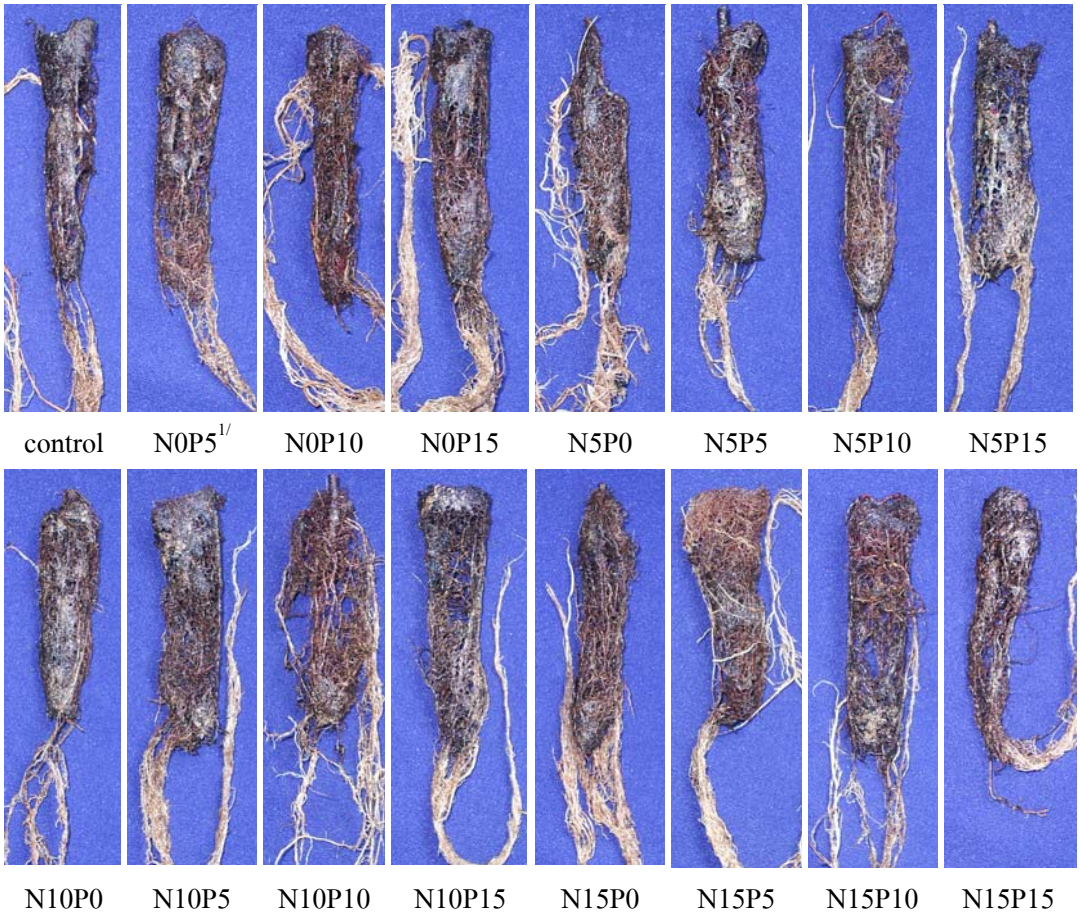
เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสพบว่า ต้นกล้าดังกล่าวที่ได้รับการปลูกเชื้อในทุกชุดดินมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และความกว้างมากสุด ส่วนต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินปากช่อง และตาคลีมีมวลแห้งส่วนเหนือดิน มวลแห้งส่วนใต้ดิน มวลแห้งรวมทั้งต้น และพื้นที่ใบสูงสุด ส่วนสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อคำนวณองค์ประกอบการเจริญเติบโตพบว่า ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าใน ทุกทรีทเมนต์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือค่า LAI, CGR และ NAR มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนค่า LAR, RGR และ SLA มีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสโดยใช้มวลแห้งรวมเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมในต้นกล้ายูคาลิปตัสไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ และต้นกล้าที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในทรายมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงสุด แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดินพบว่าต้นกล้าปลูกในชุดดินปากช่องมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าชุดดินอื่น ๆ

การทดลองที่ 4 ศึกษาปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า และต้นกล้ายูคาลิปตัส

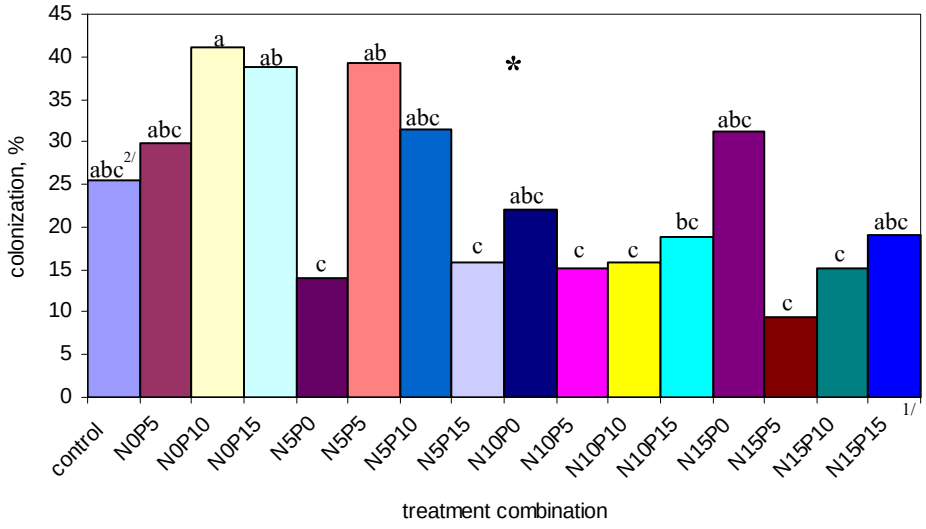
1. เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าแตกต่างกัน โดยในเดือนแรก การให้ไนโตรเจน 5 มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก. และไนโตรเจน 5 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 15 มก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีเชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอาศัยสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 44.5% (ภาพที่ 12, ตารางผนวกที่ 16) ส่วนในเดือนที่ 2 พบว่า การให้ไนโตรเจน 5 มก. ทำให้ต้นกล้ามีเชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอยู่อาศัยสูงสุดเท่ากับ 44.4% ทั้งนี้เป็นเพราะต้นกล้านำไนโตรเจนมาใช้ในการเจริญเติบโต และสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และวิตามินบี สะสมที่ราก ซึ่งสารเหล่านี้ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดด้วย (Marx, 1980) อีกทั้งยังพบว่าเมื่อให้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอยู่อาศัยในรากน้อยลง เนื่องจากต้นกล้านำไนโตรเจนที่ได้ไปใช้ในการเจริญเติบโต และอาหารสะสมที่อยู่ในรากถูกเปลี่ยนเป็นโปรตีนและสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเกือบหมด (สมบูรณ์, 2532) เชื้อเห็ดตับเต่าจึงเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับการทดลองเบื้องต้นพบว่า เชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตได้ช้าในอาหารที่เติมเปปโตน ซึ่งเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน นอกจากนี้การให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า สอดคล้องกับการทดลองของ Brandes *et al*. (1998) พบว่าเชื้อรา *Paxillus involutus* เข้าอยู่อาศัยในรากพืชมากขึ้นเมื่อให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัส และจากการทดลองเบื้องต้น พบว่า เชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตได้ดีบนอาหารที่เติมแอมโมเนียมฟอสเฟต และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัสทุกระดับ ไนโตรเจน 5 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 และ 10 มก. มีเชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอาศัยสูงสุดไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 10 และ 15 มก. และไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 15 มก. (ภาพที่ 13, ตารางผนวกที่ 16) ส่วนการให้ไนโตรเจนปริมาณต่าง ๆ แก่ต้นกล้ายูคาลิปตัส พบว่าการให้ไนโตรเจนทุกระดับมีแนวโน้มทำให้เชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอาศัยในรากต้นกล้าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่การไม่ให้ไนโตรเจนมีแนวโน้มทำให้เชื้อเห็ดดังกล่าวเข้าอาศัยในรากต้นกล้ามากขึ้น นอกจากนี้ต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ มีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าแตกต่างกันเฉพาะเดือนที่ 2 โดยต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 10 และ 15 มก. มีเชื้อเห็ดเข้าอาศัยมากสุด แต่ไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ไม่ได้รับฟอสฟอรัส (ตารางผนวกที่ 17)



ภาพที่ 12 ลักษณะรากยูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เมื่ออายุ 1 เดือน

หมายเหตุ [1/]ภาพที่กำกับด้วยตัวอักษร N, P และตัวเลข คือต้นกล้าซึ่งได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ (มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก.)



ภาพที่ 13 เปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 4 เดือน

หมายเหตุ [1/] ภาพที่กำกับด้วยตัวอักษร N, P และตัวเลข คือต้นกล้าซึ่งได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ (มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก.)

[2/] กราฟแท่งที่กำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส

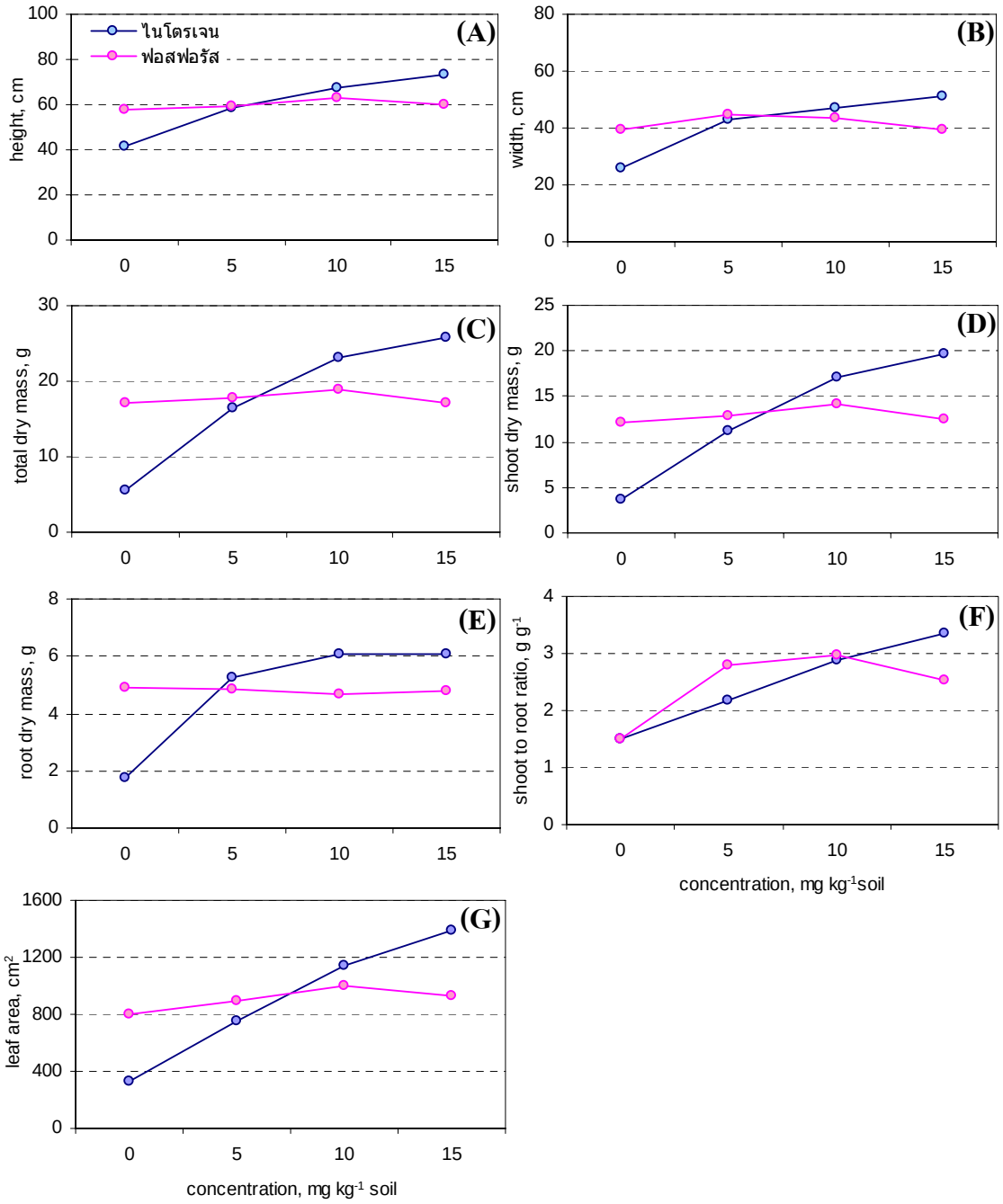
จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การให้ไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. ส่งผลให้ต้นกล้าดังกล่าวมีความสูงมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 15 มก. หรือไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 มก. และ 10 มก. (ภาพที่ 14 และ 15A, ตารางผนวกที่ 18) นอกจากนี้ยังพบว่า ความสูงของต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไนโตรเจน แต่เมื่อเปรียบเทียบการให้ไนโตรเจนปริมาณต่าง ๆ พบว่า การให้ไนโตรเจน 15 มก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีความสูงมากที่สุด เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็น อย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยช่วยในการสร้างโปรตีน และเอนไซม์ต่าง ๆ อีกทั้งเชื้อเห็ดตับเต่าซึ่งมีมากบริเวณรากช่วยให้ต้นกล้ามีประสิทธิภาพในการดูดและสะสมไนโตรเจนไว้ในรากได้มากขึ้น ส่วนการให้ฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ พบว่า เฉพาะเดือนแรก และเดือนสุดท้าย ต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 10 มก. มีความสูงมากสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ให้ฟอสฟอรัส (ตารางผนวกที่ 19) เนื่องจากเชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตได้ดี และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าโดยปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสารประกอบฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย แต่การใส่ฟอสฟอรัสปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซามีปริมาณลดลงหรือตายได้ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Bougher *et al*. (1990) พบว่าเชื้อรา *Laccaria laccata* ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสเมื่อระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมากกว่า 28 มก.

ส่วนความกว้าง มวลแห้งรวม มวลแห้งส่วนเหนือดิน มวลแห้งส่วนใต้ดิน และสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน และค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจน เมื่อเปรียบเทียบการให้เฉพาะไนโตรเจนแก่ต้นกล้ายูคาลิปตัส พบว่า การให้ไนโตรเจน 15 มก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีค่าดังกล่าวข้างต้นสูงกว่าการให้ไนโตรเจนปริมาณต่ำ สอดคล้องกับค่าความสูงของต้นกล้า ในขณะที่ต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ มีค่าดังกล่าวค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 15B-15F, ตารางผนวกที่ 20-29)

ส่วนพื้นที่ใบนั้น มีค่าแตกต่างกันเฉพาะในเดือนที่ 3 โดยต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 และ 15 มก. มีค่าสูงไม่แตกต่างกัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าต้นกล้าดังกล่าวมีค่าพื้นที่ใบไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ แต่ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจน (ภาพที่ 15G, ตารางผนวกที่ 30)

ภาพที่ 14 การเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าและได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัส ในปริมาณต่าง ๆ เมื่ออายุ 4 เดือน

หมายเหตุ [1/]ภาพที่กำกับด้วยตัวอักษร N, P และตัวเลข คือต้นกล้าซึ่งได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ (มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก.)



ภาพที่ 15 การเจริญเติบโต (A) ความสูงต้นเฉลี่ย (B) ความกว้างต้นเฉลี่ย (C) มวลแห้งรวมของทั้งต้นเฉลี่ย (D) มวลแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ย (E) มวลแห้งส่วนใต้ดินเฉลี่ย (F) สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (G) พื้นที่ใบเฉลี่ยของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน

เมื่อคำนวณองค์ประกอบการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ พบว่า ต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. มีค่า LAI สูงสุด เฉพาะเดือนที่ 3 เนื่องจากต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณดังกล่าวเจริญเติบโตดี แต่มีขนาดทรงต้นไม่ใหญ่มาก อีกทั้งมีพื้นที่ใบในการรับแสงมาก ส่งผลให้ค่า LAI สูง (ตารางผนวกที่ 30) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่า LAI ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าและได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับมีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า LAI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นกล้า (ภาพที่ 16A, ตารางผนวกที่ 31)

พื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งรวม (LAR) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสมีค่าแตกต่างกัน เฉพาะเดือนแรก และเดือนที่ 3 โดยพบว่าการให้ไนโตรเจน 10 มก. และ 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. ส่งผลให้ต้นกล้าดังกล่าวมีค่า LAR สูงไม่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า LAR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในเดือนที่ 2 ของการเจริญเติบโต และลดลงเมื่อต้นกล้ามีอายุเพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ มีค่า LAR ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 16B, ตารางผนวกที่ 32)

ส่วนอัตราการเจริญเติบโต (CGR) พบว่า มวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสมีอัตราการเพิ่มแบบยกกำลัง โดยมวลแห้งรวมเพิ่มอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก และเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนสุดท้าย (ภาพที่ 16C) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบฟังก์ชั่นเอ็กซ์โพเนนเชียล (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งรวม (Md) กับระยะเวลาปลูก (t) ของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณธาตุอาหาร (มก. ต่อ กก.)		Function	R^2
ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส		
0	0	$Md = 1.2758e^{0.2945t}$	0.98
	5	$Md = 1.3909e^{0.3763t}$	0.96
	10	$Md = 1.2787e^{0.4293t}$	0.98
	15	$Md = 1.5328e^{0.3455t}$	0.85
5	0	$Md = 1.2592e^{0.7011t}$	0.92
	5	$Md = 1.2616e^{0.6865t}$	0.98
	10	$Md = 1.1609e^{0.6944t}$	0.99
	15	$Md = 1.1005e^{0.7235t}$	0.98
10	0	$Md = 1.2830e^{0.7845t}$	0.97
	5	$Md = 1.2606e^{0.7719t}$	0.95
	10	$Md = 1.1035e^{0.8156t}$	0.94
	15	$Md = 1.1883e^{0.8008t}$	0.96
15	0	$Md = 1.3372e^{0.7893t}$	0.97
	5	$Md = 1.2480e^{0.8278t}$	0.98
	10	$Md = 1.3364e^{0.8000t}$	0.96
	15	$Md = 1.2461e^{0.7919t}$	0.96

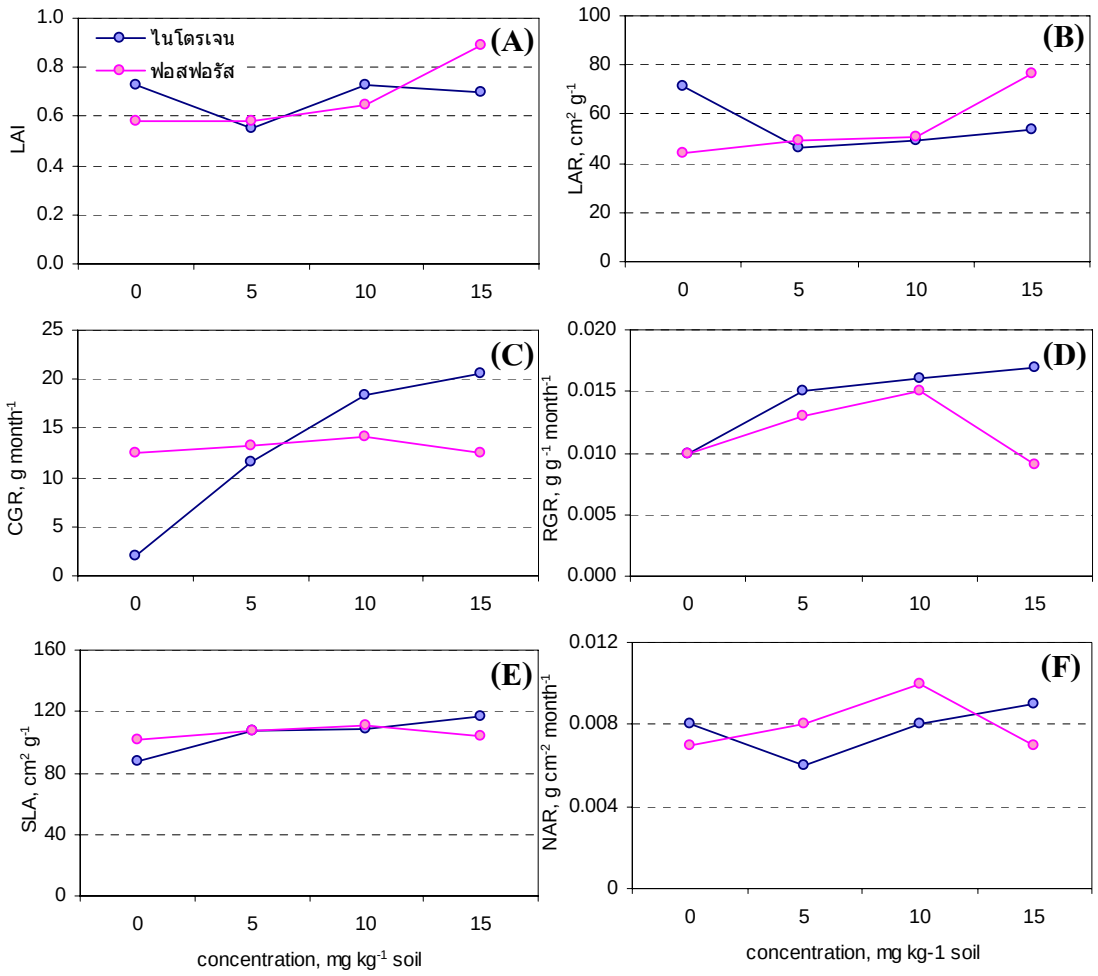
เมื่อนำค่าคงที่สะท้อนอัตราเร็วของการเพิ่มมวลแห้งรวมที่ได้จากฟังก์ชั่นข้างต้นมาคำนวณค่า CGR พบว่า ต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับ มีค่า CGR แตกต่างกัน เฉพาะในเดือนที่ 3 โดยต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5, 10 และ 15 มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก. มีค่า CGR สูงไม่แตกต่างจากการให้ไนโตรเจน 10 มก. และไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 15 มก. เนื่องจากต้นกล้าดังกล่าวใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโต และเก็บสะสมธาตุอาหารดังกล่าว

ในรูปน้ำหนักแห้ง รวมทั้งอาหารสะสมในรากปริมาณมาก ซึ่งช่วยให้เชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตได้ดี และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้า ส่งผลให้ค่า CGR สูง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับ มีค่า CGR ไม่แตกต่างกัน (ตารางผนวกที่ 33) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า CGR ของต้นกล้าที่ได้รับเฉพาะไนโตรเจน พบว่า การให้ไนโตรเจน 15 มก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีค่า CGR สูงสุด และค่าดังกล่าว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นกล้า เช่นเดียวกับค่ามวลแห้งรวม (ภาพที่ 16C, ตารางผนวกที่ 34)

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับมีค่าแตกต่างกัน เฉพาะเดือนที่ 2 โดยต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. มีค่า RGR สูงสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ มีค่า RGR ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 16D, ตารางผนวกที่ 35)

สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งใบ (SLA) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสมีค่าแตกต่างกันเฉพาะในเดือนที่ 3 โดยพบว่าการให้ไนโตรเจน 5 มก. ทำให้ต้นกล้าดังกล่าวมีค่า SLA สูงสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ มีค่า SLA ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 16E, ตารางผนวกที่ 36) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า SLA ของต้นกล้าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไนโตรเจนที่ให้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 2 เดือนแรก และลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ 37)

ค่า Net Assimilation Rate (NAR) ของต้นกล้ายูคาลิปตัสมีค่าแตกต่างกัน โดยในเดือนที่ 2 ต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 มก. มีค่า NAR สูงสุด แต่ไม่แตกต่างจากต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 15 มก. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 15 มก. มีค่า NAR สูงสุด (ภาพที่ 16F, ตารางผนวกที่ 38) เนื่องจากไนโตรเจนปริมาณมากช่วยให้ต้นกล้าเจริญเติบโต และสะสมอาหารในรูปของน้ำหนักแห้งได้มาก ส่งผลให้ NAR มีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่าค่า NAR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนที่ 2 และลดลงเมื่อต้นกล้ามีอายุมากขึ้น

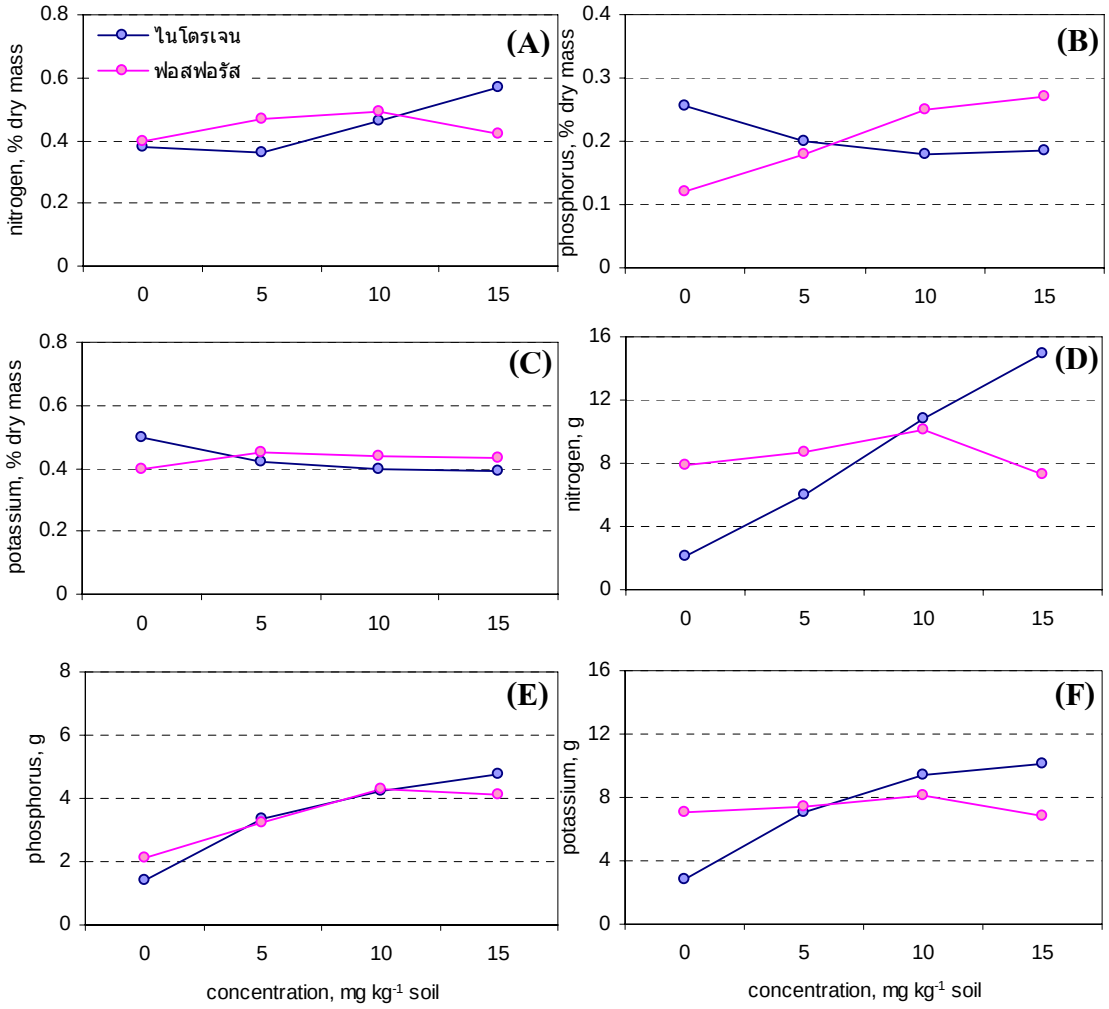


ภาพที่ 16 องค์ประกอบการเจริญเติบโต (A) ดัชนีพื้นที่ใบ (B) อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งรวม (C) อัตราการเจริญเติบโต (D) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (E) สัดส่วนพื้นที่ใบต่อมวลแห้งของใบ และ (F) ค่า Net Assimilation Rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 เดือน

3. ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดิน ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ โดยใช้มวลแห้งรวมเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไนโตรเจน (0.5% มวลแห้ง) ฟอสฟอรัส (0.3% มวลแห้ง) มีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 17A และ 17C) ส่วนการให้ฟอสฟอรัส 5, 10 และ 15 มก.ต่อวัสดุปลูก 1 กก. ส่งผลให้ต้นกล้ามีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงสุด ช่วง 0.5-0.6% มวลแห้ง แต่ไม่แตกต่างจากการให้ไนโตรเจน 10, 15 มก. และไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. (ภาพที่ 17C, ตารางผนวกที่ 39)

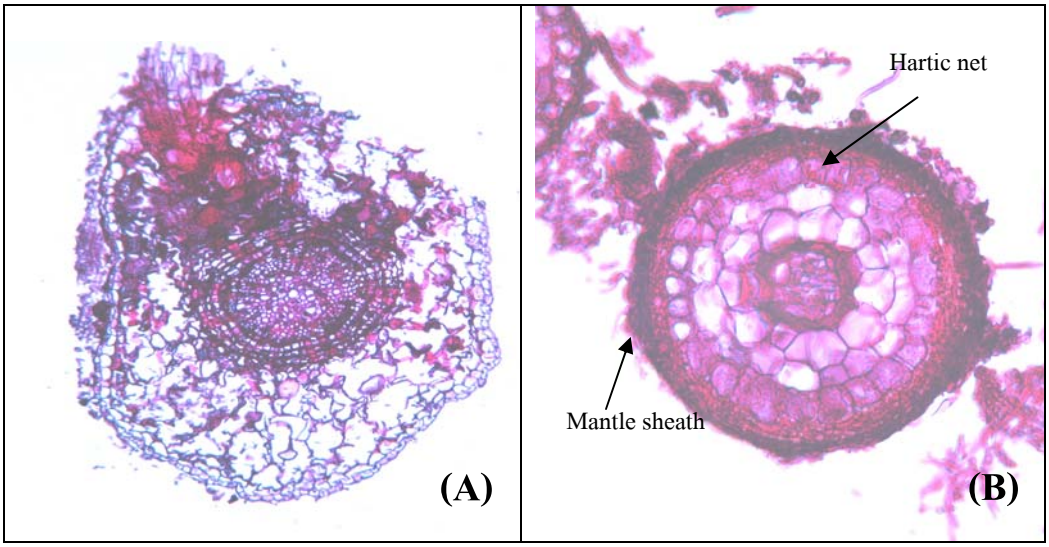
ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักที่ปรากฏอยู่ในต้น พบว่า การให้ไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. และการให้ไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 0, 5 และ 10 มก. ทำให้ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุดไม่แตกต่างกัน (15.8 กรัม) (ภาพที่ 17D) ส่วนการให้ไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. และการให้ไนโตรเจน 15 มก. มีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงสุด (12.3 กรัม) (ภาพที่ 17F) นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับทำให้ต้นกล้าดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันเฉลี่ย 7.0 กรัม (ภาพที่ 17E, ตารางผนวกที่ 40)



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของธาตุ (A) ไนโตรเจน (B) ฟอสฟอรัส และ (C) โพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดิน และปริมาณธาตุ (D) ไนโตรเจน (E) ฟอสฟอรัส และ (F) โพแทสเซียมที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

4. ลักษณะทางกายวิภาคของรากยูคาลิปตัส

จากการศึกษารากของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังจากการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่า รากของต้นกล้าที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดมีสีเหลืองปนน้ำตาลเข้ม แตกแขนงแบบ monopodial ผิวรากเรียบ มันวาวน้อย มีเส้นใยที่อัดกันเป็นเนื้อเยื่อ pseudoparenchyma เรียกว่า แผ่นแมนเทิล (mantle sheath) และพบเส้นใยสีน้ำตาลแผ่กระจายอยู่ภายนอกมีการสร้าง clamp connection นอกจากนี้ยังตรวจพบเส้นใยราบางส่วนเจริญเข้าไปภายในรากระหว่างเซลล์ชั้นคอร์เท็กซ์ มีลักษณะเป็นร่างแห เรียกว่าฮาร์ติกเน็ท (hartic net)



ภาพที่ 18 ลักษณะโครงสร้างภายในตัดตามขวางของ (A) รากยูคาลิปตัสที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และ (B) รากยูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า อายุ 4 เดือน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ในช่วงเดือน 2 เดือนแรก ต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 5 มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก. มีเชื้อเห็ดตับเต่าเข้าอยู่อาศัยในรากสูงสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 10 มก. มีเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดสูงสุด

เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าและได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในระดับต่าง ๆ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองต้นกล้าดังกล่าวที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าและได้รับไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. มีความสูง และค่า NAR สูงสุด ส่วนต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับมีความกว้าง มวลแห้ง-ส่วนเหนือดิน มวลแห้งส่วนใต้ดิน มวลแห้งรวมทั้งต้น สัดส่วนมวลแห้งเหนือดินต่อมวลแห้งใต้ดิน พื้นที่ใบ รวมทั้งค่า LAI, LAR, CGR, RGR และ SLA ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มว่าต้นกล้ามีค่าดังกล่าวข้างต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่มากขึ้น

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัส โดยใช้มวลแห้งรวมเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ต้นกล้าดังกล่าวมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน และต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 5 มก. มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงสุด และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดินพบว่า ต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 มก. มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด ส่วนต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 15 มก. มีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน

สรุป

การทดลองที่ 1 ศึกษาแหล่งอาหาร และระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า สามารถสรุปได้ดังนี้

เชื้อเห็ดตับเต่าใช้ฟรุคโตส ซูโครส และแมนนิทอลเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมที่สุด โดยส่งผลให้เชื้อเห็ดตับเต่ามีโคโลนีใหญ่ที่สุด และมีความหนาแน่นปานกลาง ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า คือ แอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนียมฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต ส่งผลให้เชื้อเห็ดตับเต่าเจริญเติบโตดี โคโลนีมีขนาดใหญ่สุด และมีความหนาแน่นปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่าคือ 5.0, 5.5, 7.0, 7.5 และ 8.0 ซึ่งส่งผลให้เชื้อเห็ดมีโคโลนีใหญ่สุด และมีความหนาแน่นมาก

การทดลองที่ 2 ศึกษาวิธีการปลูกเชื้อ และปริมาณหัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส สามารถสรุปได้ดังนี้

วิธีการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าให้แก่ต้นกล้ายูคาลิปตัสทุกวิธีไม่มีผลต่อการเข้าอาศัยในรากของเชื้อเห็ดตับเต่า ส่วนการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ พบว่าการปลูกหัวเชื้อข้าวฟ่าง 40 และ 60 กรัม ส่งผลให้ต้นกล้าดังกล่าวมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้าง มวลแห้งของส่วนเหนือดิน มวลแห้งของส่วนใต้ดิน มวลแห้งรวม และพื้นที่ใบสูงสุด เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบการเจริญเติบโตพบว่า ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อด้วยหัวเชื้อข้าวฟ่างทุกอัตรามีค่า LAI และ CGR สูงสุด และต้นกล้าที่ได้รับการปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยแขวนลอยมีค่า LAR และ SLA สูงสุด ส่วนค่า RGR และ NAR รวมทั้งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นกล้ายูคาลิปตัสไม่แตกต่างกันในทุกทรีทเมนต์ ในขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกเชื้อโดยใช้เส้นใยแขวนลอยมีความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูงสุด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดินพบว่าต้นกล้าใช้หัวเชื้อ 40 และ 60 กรัมมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุด

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของชุดดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า สามารถสรุปได้ดังนี้

ชุดดินไม่มีผลต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากของต้นกล้ายูคาลิปตัส แต่ต้นกล้าดังกล่าวที่ปลูกในทุกชุดดินมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงมากสุด ส่วนต้นกล้าที่ปลูกในชุดดินปากช่อง และตาคลี มีความกว้าง มวลแห้งส่วนเหนือดิน มวลแห้งส่วนใต้ดิน มวลแห้งรวม พื้นที่ใบ และค่า CGR สูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าที่ปลูกในทุกชุดดินมีค่า S/R, LAI, LAR, RGR, SLA และ NAR รวมทั้งความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกในทรายมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนเหนือดินพบว่าต้นกล้าปลูกในชุดดินปากช่องมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินสูงกว่าชุดดินอื่น ๆ

การทดลองที่ 4 ศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่าและต้นกล้ายูคาลิปตัส สามารถสรุปได้ดังนี้

การให้ฟอสฟอรัส 10 มก. ต่อวัสดุปลูก 1 กก. มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าสูงสุด จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายูคาลิปตัส พบว่า ต้นกล้าดังกล่าวที่ได้รับไนโตรเจน 10 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 10 มก. มีความสูง และค่า NAR สูงสุด ส่วนต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับมีความกว้าง มวลแห้งส่วนเหนือดิน มวลแห้งส่วนใต้ดิน มวลแห้งรวมทั้งต้น พื้นที่ใบ รวมทั้งค่า S/R, LAI, LAR, CGR, RGR และ SLA ไม่แตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินพบว่าต้นกล้าดังกล่าวมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 5 มก. มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงสุด ส่วนต้นกล้าที่ได้รับไนโตรเจน 15 มก. ร่วมกับฟอสฟอรัส 5 มก. มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด และต้นกล้าที่ได้รับฟอสฟอรัส 15 มก. มีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุด ในขณะที่การให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่ต่างกัน

การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า วิธีการปลูกเชื้อ และปริมาณเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่า และต้นกล้ายูคาลิปตัส รวมทั้งทราบผลของชุดดินที่มีปัจจัยทางเคมีแตกต่างกัน และปริมาณของธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่มีต่อการเจริญเติบโตต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดตับเต่า และนำเชื้อเห็ดดังกล่าวมาส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ตลอดจนเป็นการช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี และลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. **เอกสารวิชาการ คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

เกษมสุข เกษสกุล. 2533. **ยูคาลิปตัส พันธุ์ไม้เศรษฐกิจที่มีค่าทั้งปัจจุบัน และอนาคต**. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จักรกฤษณ์ หอมจันทน์. 2532. **ผลกระทบของการปลูกยูคาลิปตัสต่อคุณสมบัติดิน และการผลิตพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2541. **มะกอกน้ำกับเห็ดตับเต่า**. ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธิดารัตน์ ริเอโกะ ทากาชิมา. 2547. **การศึกษาปัจจัยทางดินบางประการที่มีผลต่อการเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระวัฒน์ บุญทวีคุณ. 2533. **เทคนิคการเพาะเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซากับกล้าไม้สนเขาเขตร้อนในเรือนเพาะชำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นงนุช จิรเสาวภาคย์ และณัฐนิสา ชอบรัมย์. 2543. **การศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดตับเต่าในอาหารสูตรต่างๆ และการพัฒนาของเชื้อเห็ดตับเต่าในพืชอาศัย**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไพบูลย์ กวินเลิศวัฒนา. 2524. **หลักการและวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ**. ม.ป.ท., กรุงเทพฯ

เฟื่องฟ้า จันทนิยม. 2549. เทคนิคและวิธีการเบื้องต้นในการเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชทางพาราฟินขั้นพื้นฐาน, น. 29-44. **การฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำสไลด์ถาวรของเนื้อเยื่อพืชสำหรับสื่อการเรียนการสอน**. งานวินิจฉัยและกักกันศัตรูพืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. (อัดสำเนา)

ราชบัณฑิตยสถาน. 2539. **เห็ดกินได้และเห็ดมีพิษ**. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

วรา กุลชล และศิริ มิเดหวัน. 2514. การทดลองเพาะเชื้อไมคอร์ไรซากับสนสองใบ และการตรวจนับความเสียหายก่อนย้ายชำ, น. 361-366. *ใน* **ความรู้และการทดลองค้นคว้าเกี่ยวกับไม้สนในประเทศไทย ปีงบประมาณ 2514**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ

วสันณ์ เพชรรัตน์. 2536. **การผลิตเห็ด**. ภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วัชรี มีลาภ. 2544. **ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาได้รับแสง และอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดตับเต่า**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิฑูรย์ พลาวุฑฒ์. 2527. **การทำเชื้อและการเพาะเชื้อเห็ด**. วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเกษตรนครศรีธรรมราช, นครศรีธรรมราช.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ สุทธิจิตต์ และไมตรี สุทธิจิตต์. 2546. เห็ดสมุนไพร: จากอดีต สู่ปัจจุบัน และอนาคต. **จดหมายข่าวเพื่อชาวฟาร์มเห็ด** 12(12): 10-20.

สมบูรณ์ บุญยืน. 2532**. ผลของเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาไพโซไลธัส ทิงธอเรียสต่อการเจริญเติบโตและการดูดซับธาตุอาหารของกล้าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส และสนคาริเบียที่ปลูกบนมูลดินเหมืองแร่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถิ ไชยเพ็ชร. 2531. **ไม้ยูคาลิปตัส เรื่องตัดสินใจลำบาก**. องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ, กรุงเทพฯ.

สุชีลา ธีราภรณ์. 2531. **ผลของปูนขาวและปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อการเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่ปลูกในดินชุดน้ำพอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนงค์ จันทร์ศรีกุล. 2535. **เห็ดเมืองไทย**. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

_____ และอัจฉรา พยัพพานนท์. 2530. ตับเต่า เห็ดที่ควรพัฒนา. **วารสารกสิกร** 60(5): 441-445.

อนิวรรต เฉลิมพงศ์. 2542. เห็ดป่าไมคอร์ไรซ่า, น. 25-31. *ใน* **เห็ดไทย 2542**. นิวธรรมดาการพิมพ์จำกัด, กรุงเทพฯ.

อรุณี ยูวะนิยม. ม.ป.ป. การจัดการแก้ไขปัญหาดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ

ออมทรัพย์ นพอมรบดี, สิริวิภา สัจจพงษ์ และสมเพชร เจริญสุข. 2544. การคัดเลือก รวบรวมและผลการใช้เชื้อเอ็คโตไมคอร์ไรซ่าในไม้โตเร็ว และไม้ผล, น. 72-76. *ใน* **เห็ดไทย 2544**. นิวธรรมดาการพิมพ์จำกัด, กรุงเทพฯ.

อุทัยวรรณ แสงวณิช. 2537. เอคโตไมคอร์ไรซาของไม้ป่า. **เรื่องน่ารู้สำหรับประชาชน** 21: 192-199.

Beckjord, P.R., J.H. Melhuish and M.S. McIntosh. 1985. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on growth and formation of ectomycorrhizae of *Quercus alba* and *Q. rubra* seedlings by *Pisolithus tinctorius* and *Scleroderma auranteum*. **Can. J. Bot**. 63: 1667-1680.

Bierman, B. and R.G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: A proposed method towards standardization. **New Phytol.** 87: 63-67.

Bougher, N.L., T.S. Grove and N. Malajczuk. 1990. Growth and phosphorus acquisition of karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi in relation to phosphorus supply. **New Phytol.** 114: 77-85.

Boyle, C.D., W.J. Robertson and P.O. Salonius. 1987. Use of mycelial slurries of mycorrhizal fungi as inoculum for commercial tree seedling nurseries. **Can. J. Forest Res.** 17: 1480-1486.

Brandes, B., D.L. Godbold, A.J. Kuhn and G. Jentschke. 1998. Nitrogen and phosphorus acquisition by the mycelium of the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus* and its effect on host nutrition. **New Phytol**. 140: 735-743

Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajezuk. 1996. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. ACIAR Monograph, Wembly.

_____ , N. Malajezuk, M. Gong, D. Xu, S. Snelling and B. Dell. 2005. Nursery inoculation of *Eucalyptus* seedlings in Western Australia and Southern China using spores and mycelial inoculum of diverse ectomycorrhizal fungi from different climatic region. **Forest Ecol. Manage**. 209: 193-205

_____ , Y. Piche and R.L. Peterson. 1984. A new method for observing the morphology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. **Can. J. Bot**. 62: 2128-2134.

Burgess, T., N. Malajezuk and N. Grove. 1993. The ability of 16 ectomycorrhizal fungi to increase growth and phosphorus uptake by *Eucalyptus globulus*. **Plant Soil.** 153: 155-164.

Castellano, M.A. 1994. Current status of outplanting studies using ectomycorrhiza-inoculated forest trees, pp. 261-281. *In* F. Pfleger and B. Linderman, eds. **A Reappraisal of Mycorrhizae in Plant Health**. Amer Phytopathol. Soc. Press, St. Paul.

Chalermpongse, A. 1995. The occurrence and use of ectomycorrhizal fungi in eucalypt plantations in Thailand, pp. 127-131. *In* M. Brundrett, B. Dell, N. Malacjzuk and M.Q. Gong, eds. **Mycorrhizas for Plantations Forestry in Asia**. ACIAR Proceedings No. 62. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.

Conjeaud, C., P. Scheromm and D. Mousain. 1996. Effect of phosphorus and ectomycorrhiza on maritime pine seedling (*Pinus pinuaster*). **New Phytol**. 133: 345-351

Culling, K. and S. Makhija. 2001. Ectomycorrhizal fungi associates of *Pinus contorta* in soils associated with a hot spring in Norris geyser basin, Yellowstone National Park, Wyoming. **Appl. Environ. Microbiol**. 67: 5538-5543.

Daza, A., J.L. Manjon, M. Camacho, L. R. de la Osa, A. Aguilar and C. Santamaria. 2006. Effect of carbon and nitrogen sources, pH and temperature on *in vitro* culture of several isolates of *Amanita caesarea* (Scop. Fr.) Pers. **Mycorrhiza**. 16: 133-136

Dickie, I.A., R.T. Koide and C.M. Stevens. 1998. Tissue density and growth response of ectomycorrhizal fungi to nitrogen source and concentration. **Mycorrhiza**. 8: 145-148

Erland, S. and B. Soderstrom. 1991. Effects of liming on ectomycorrhizal fungi infecting *Pinus sylvestris* L. I. mycorrhizal infection in limed humus in the laboratory and isolation of fungi from mycorrhizal roots. **New Phytol**. 115: 675-682.

FAO. 1980. Forestry for Local Community Development. **FAO Forestry Paper No.7**. Rome

Gong, M.Q., C. Yu and F.Z. Wang. 1997. A study on environmental condition for the growth of 3 species of *Eucalyptus* mycorrhizal fungi. **Forest Res**. 10: 1-5.

Hunt, R. 1990. **Basic Growth Analysis: Plant growth analysis for Beginners**. Unwin hyman, Ltd., London

Kaul, T.N. 2002. **Biology and Conservation of Mushrooms**. Science Publishers Inc., Enfield.

Kuek, C., I.C. Tommerup and N. Malajczuk. 1992. Hydrogel bead inocula for the production of ectomycorrhizal eucalyptus for plantations. **Mycol. Res.** 96: 273-277.

Kumar, S and T. Satyanarayana. 2002. Isolation of ectomycorrhizal fungi: methods and techniques, pp. 143-162. *In* K.G. Mukerji, C. Manoharachary and B.P. Chamola, eds. **Techniques in Mycorrhizal Studies**. Kluwer Acedemic Publishers, Dordrecht.

Laperie, F.F., G. A. Chilvaers. 1985. An endomycorrhiza-ectomycorrhiza succession association with enhance growth of *Eucalyptus dumosa* seedlings planted in a calcareous soil. **New Phytol**. 100: 93-104.

Lundeberg, G. 1970. Utilization of various nitrogen sources in particular bound soil nitrogen by mycorrhizal fungi. **Stud. For. Suec**. 79: 1-95

Mala, T., W. Phuengsaeng, J. Phumpetch and M. Jiumjirachart. 1998. **The Effectiveness Evaluation of VAM Fungi on Enhancement of Plant Growth and Phosphate Uptake of Maize and Soybean**. Final Report Submitted to Kasetsart University Research and Development Institute. Bangkok.

Marcschner, H. and B. Dell. 1994. Nutrition uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant Soil** 117: 243-253.

Martin, F., V. Boiffin and P.E. Pfeffer. 1998. Carbohydrate and amino acid metabolism in the *Eucalyptus globules–Pisolithus tinctorius* ectomycorrhiza during glucose utilization. **Plant Physiol**. 118: 627-635

Marx, D.H. 1977. The role of mycorrhizae in forest production, pp. 151-161. *In* **TAPPI Conference Pap**, Annu. Meeting, Atlanta.

_____ and D.S. Kenny. 1982. Production of ectomycorrhizal fungus inoculum, pp. 131-146. *In* N.C. Schenck, ed. **Methods and Principles of Mycorrhizal Research.** Amer Phytopathol. Soc. Press, St. Paul.

_____ and J.P. Barnett. 1974. Mycorrhizae and containerized tree seedlings, pp. 85-92. *In* R.W. Inus, W.E. Stein and W.E. Bolmer, eds. **Proceedings of the North America Containerized Forest Tree Symposium**. Great Plains Agr. Council Poal. No.68. Denver.

Mejstrik, V. K. 1975. The effect of mycorrhizal infection of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* by two boletus species on the accumulation of phosphorus**. New Phytol**, 74: 455-459**.**

Molina, R. and J.G. Palmer. 1982. Isolation, maintenance and pure culture manipulation of ectomycorrhizal fungi, pp. 115-146. *In* N.C. Schenck, ed. **Methods and Principles of Mycorrhizal Research.** Amer. Phytopathol. Soc. Press, St. Paul.

Nilwik, H.J.M. 1981. **Vegetable Production**. Nostrand Reinhold, New York

Pope, P.E. 1993. **Some Soil Fungi are Beneficial to Tree Seedling Growth**. Available Source: http://www.ces.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-104.html. December 29, 2003

Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. **Crop Sci**. 7: 171-175.

Rawat, J.S. and S.P. Banerjee. 1998. The influence of salinity on growth, biomass production and photosynthesis of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Dalbergia sisco* Roxb. seedlings. **Plant Soil**. 205: 163-169

Riffle, J.W. and D.M. Maronek. 1982. Ectomycorrhiza inoculation procedures for greenhouse and nursery studies, pp. 147-156. *In* N.C. Schenck, ed. **Methods and Principles of Mycorrhizal Research.** Amer Phytopathol. Soc. Press, St. Paul.

Ruzin, S.E. 1999. **Plant Microtechnique and Microscopy**. Oxford University Press, New York.

Sanchez, F., M. Honrubia, P. Torres. 2001. Effect of pH, water stress and temperature on *in vitro* cultures of ectomycorrhizal fungi from Mediterranean forests. **Cryptogram. Mycol**. 22: 243-258

Santos, V., R.M. Muchovej, A.C. Borges, J.L. Neves and M.M. Kasuya. 2001. **Vesicular-arbuscular-/ecto-mycorrhiza succession in seedlings of *Eucalyptus* spp.** Available Source: http://www.scielo.php?script=sci_abstract&pi, November 4, 2004.

SAS. 1999. **SAS Program for Data Analysis**. SAS Institute Inc., North Carolina.

Schnitzler, H.U. 2004. **Characterization of organic nitrogen transport in the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindosporum***. Available Source: deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=970942737&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=970942737.pdf, March 30, 2007

Thornley, J.H.M., Iran R. Johnson. 1990. **Plant and Crop Modeling**. Clarendon Press. Oxford. Great Britain. pp. 75-76

Ulla, A.J., P.A.W. Hees, U.S. Lundstrom and R.D. Finlay. 2000. Organic acids produced by mycorrhizal *Pinus sylvestris* exposed to elevated aluminium and heavy metal concentrations. **New Phytol**. 146: 557-567

Vlahos, J., C. Heuvelink and G.F.P. Martakis. 1991. A growth analysis study of three *Achimens* cultivars grown under light regimes. **Sci. Hort**. 46: 275-282.

Wilcox, H. E. 1991. Mycorrhizae, pp. 731-765. *In* W. Yoav, ed. **Plant Root: the Hidden Half**. Marcel Dekker, New York.

Wu, T., N. Juri and R.T. Koide. 2003. Exploring interactions between saprotrophic microbes and ectomycorrhizal fungi using a protein-tannin complex as an N source by red pine (*Pinus resinosa*). **New Phytol**. 159: 131-139

Yamanaka, T. 2003. The effect of pH on the growth of saprotrophic and ectomycorrhizal ammonia fungi *In vitro*. **Mycologia**. 95(4): 548-589.

Yoshisuji, B. and T. Kawasoe. 1961. Studies on *Eucalyptus* spp. relation between pH value of water culture solution and the growth of *Eucalyptus* spp. **For. Abstr**. 22 (240): 63-70.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ และสูตรธาตุอาหาร

ตารางผนวกที่ 1 ความสูง และความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)					ความกว้างต้น (เซนติเมตร)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	8.3	14.8 a	24.3 b	25.7 c	39.7 b	6.7	10.0	20.7 b	18.5 c	32.7 b
เส้นใยแขวนลอย	8.0	15.8 a	24.3 b	22.8 c	40.0 b	6.5	9.3	17.0 b	20.0 c	31.3 b
หัวเชื้อ 20 กรัม	8.0	14.8 a	36.3 a	42.3 b	59.7 a	6.5	12.0	31.0 a	35.8 b	43.7 a
หัวเชื้อ 40 กรัม	8.3	9.8 b	40.0 a	55.0 a	64.7 a	6.5	7.5	31.3 a	44.7 ab	48.3 a
หัวเชื้อ 60 กรัม	8.5	9.9 b	40.0 a	57.2 a	67.2 a	6.7	10.3	29.3 a	50.7 a	49.7 a
F-test	ns	*	*	**	**	ns	ns	*	*	*
% C.V.	17.4	15.9	12.8	9.3	9.3	9.4	28.8	13.3	18.7	13.8

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 2 มวลแห้งรวม และมวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	มวลแห้งรวม (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)					มวลแห้งส่วนเหนือดิน (กรัม)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	6.7	10.0	20.7 b	18.5 c	32.7 c	0.1	0.3 a	1.1 bc	1.7 c	3.6 b
เส้นใยแขวนลอย	6.5	9.3	17.0 b	20.0 c	31.3 c	0.1	0.3 a	0.9 c	1.4 c	3.6 b
หัวเชื้อ 20 กรัม	6.5	12.0	31.0 a	35.8 b	43.7 b	0.1	0.4 a	2.3 ab	5.5 ab	9.9 b
หัวเชื้อ 40 กรัม	6.5	7.5	31.3 a	44.7 ab	48.3 a	0.1	0.1 b	2.7 a	8.7 a	17.9 a
หัวเชื้อ 60 กรัม	6.7	10.3	29.3 a	50.7 a	49.7 a	0.1	0.2 ab	2.5 a	10.6 a	20.4 a
F-test	ns	ns	*	*	*	ns	*	*	**	*
% C.V.	33.3	35.1	37.6	24.1	29.9	27.1	35.0	36.6	21.9	31.3

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 3 มวลแห้งส่วนใต้ดิน และสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	มวลแห้งส่วนใต้ดิน (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)					สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (กรัมต่อกรัม)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	0.1	0.1	0.4	1.1 bc	1.4 b	1.2	5.1	2.6 b	1.5	2.6
เส้นใยแขวนลอย	0.1	0.1	0.4	0.8 c	2.0 b	1.3	3.0	2.3 b	1.9	1.9
หัวเชื้อ 20 กรัม	0.1	0.1	0.6	3.3 abc	6.9 b	1.4	2.9	3.7 b	1.9	1.4
หัวเชื้อ 40 กรัม	0.1	0.1	0.7	4.0 ab	13.3 a	1.4	3.5	4.1 ab	2.7	1.5
หัวเชื้อ 60 กรัม	0.1	0.1	0.5	4.4 a	12.9 a	1.3	3.3	5.7 a	2.6	1.6
F-test	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns
% C.V.	8.5	51.8	44.9	55.1	44.8	22.4	36.8	25.0	39.7	27.1

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 4 ค่าพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	13.6	43.5 a	117.2 b	141.2 c	33.3 b
เส้นใยแขวนลอย	13.5	45.7 a	95.9 b	147.9 c	36.7 b
หัวเชื้อ 20 กรัม	12.9	42.2 a	315.0 a	636.4 b	76.3 a
หัวเชื้อ 40 กรัม	14.0	21.1 ab	396.0 a	1071.3 a	78.3 a
หัวเชื้อ 60 กรัม	13.8	11.0 b	372.4 a	1237.9 a	75.7 a
F-test	ns	*	*	**	**
%C.V.	20.3	40.5	35.5	19.6	15.7

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 5 ค่า leaf area index และ leaf area ratio ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	leaf area index[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)					leaf area ratio (ตารางเซนติเมตร/กรัม)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	0.4	0.5 a	0.3	0.5	0.5 c	98.0	103.9 a	77.6 b	49.1	80.1 a
เส้นใยแขวนลอย	0.4	0.7 a	0.4	0.5	0.5 bc	100.4	106.6 a	76.1 b	68.0	76.7 ab
หัวเชื้อ 20 กรัม	0.4	0.4 ab	0.4	0.6	0.8 ab	103.0	85.1 ab	109.1 a	73.9	62.7 bc
หัวเชื้อ 40 กรัม	0.4	0.3 b	0.5	0.7	0.8 abc	102.2	65.8 b	121.0 a	88.5	50.4 c
หัวเชื้อ 60 กรัม	0.4	0.3 b	0.5	0.7	0.9 a	98.0	71.5 b	121.0 a	82.2	47.4 c
F-test	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*	ns	*
% C.V.	34.0	35.3	31.7	36.5	23.0	21.5	14.6	11.5	20.6	13.2

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 6 ค่า crop growth rate และ relative growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	crop growth rate (กรัม/เดือน)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				relative growth rate (กรัม/กรัม/เดือน)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	0.4 b	1.4 b	2.6 c	4.5 b	1.0 ab	1.3 bc	0.6 b	0.5
เส้นใยแขวนลอย	0.5 ab	1.6 b	2.8 c	7.0 b	1.1 ab	1.1 c	0.6 b	0.9
หัวเชื้อ 20 กรัม	0.7 a	4.4 a	13.5 b	29.3 ab	1.7 a	1.8 bc	1.1 ab	0.8
หัวเชื้อ 40 กรัม	0.3 b	5.4 a	20.1 a	49.6 a	0.1 b	3.0 a	1.3 a	0.9
หัวเชื้อ 60 กรัม	0.5 b	4.6 a	22.8 a	50.6 a	0.5 b	2.4 ab	1.5 a	0.8
F-test	*	*	**	**	*	*	*	ns
% C.V.	31.7	40.0	25.4	31.2	44.3	27.0	37.3	51.2

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 7 ค่า specific leaf area และ net assimilation rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

วิธีการปลูกเชื้อ	specific leaf area (ตารางเซนติเมตร/กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				net assimilation rate (กรัม/ตารางเซนติเมตร/เดือน) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
ไม่ปลูกเชื้อ	155.6 ab	143.4 b	110.8 c	161.2 a	0.01	0.02	0.01	0.01
เส้นใยแขวนลอย	175.7 a	147.4 b	137.7 b	157.2 a	0.01	0.01	0.01	0.01
หัวเชื้อ 20 กรัม	144.6 abc	196.2 a	167.4 a	148.1 ab	0.02	0.02	0.01	0.01
หัวเชื้อ 40 กรัม	134.2 bc	213.5 a	189.3 a	134.0 bc	0.00	0.03	0.01	0.02
หัวเชื้อ 60 กรัม	122.3 c	205.7a	183.2 a	123.2 c	0.01	0.02	0.02	0.02
F-test	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
% C.V.	11.4	8.5	8.8	8.2	48.5	33.9	35.5	54.2

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 8 ความสูง และความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	ความสูงต้น (เซนติเมตร) [1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			ความกว้างต้น (เซนติเมตร)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		
	0	2	4	0	2	4
ทราย (control)	17.0	46.0 b	78.0 b	12.2	31.0 b	46.0 c
ปากช่อง	17.0	65.7 a	120.7 a	13.8	47.3 a	60.3 a
ตาคลี	16.5	60.0 a	97.7 a	11.7	54.5 a	56.3 ab
กำแพงแสน	16.7	58.7 a	92.0 a	11.7	47.3 a	49.0 bc
F-test	ns	*	*	ns	*	*
% C.V.	3.7	9.1	9.9	16.9	11.2	9.1

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 9 มวลแห้งรวม และมวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	มวลแห้งรวม (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			มวลแห้งส่วนเหนือดิน (กรัม)[2/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		
	0	2	4	0	2	4
ทราย (control)	0.1	3.9	27.1 b	0.4	2.9	16.2 c
ปากช่อง	0.1	11.1	55.7 a	0.4	8.1	38.5 a
ตาคลี	0.1	7.9	51.7 a	0.4	5.7	31.9 ab
กำแพงแสน	0.1	5.2	35.5 ab	0.4	4.2	26.2 bc
F-test	ns	ns	*	ns	ns	*
% C.V.	19.4	43.1	27.3	24.7	61.0	20.7

หมายเหตุ [1/, 2/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 10 มวลแห้งส่วนใต้ดิน และสัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	มวลแห้งส่วนใต้ดิน (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			สัดส่วนมวลแห้งเหนือดินต่อมวลแห้งใต้ดิน (กรัมต่อกรัม) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		
	0	2	4	0	2	4
ทราย (control)	0.2	1.0 c	10.9	0.5	3.1	1.6
ปากช่อง	0.3	3.0 a	17.2	0.4	2.7	2.3
ตาคลี	0.2	2.2 b	19.8	0.6	2.6	1.9
กำแพงแสน	0.3	1.1 c	9.3	0.5	3.8	3.6
F-test	ns	*	ns	ns	ns	ns
% C.V.	19.7	18.8	28.6	21.9	24.3	29.7

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 11 ค่าพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ภายหลังได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		
	0	2	4
ทราย (control)	34.4	329.0 c	1065.7 b
ปากช่อง	41.0	1335.5 a	2209.2 a
ตาคลี	39.9	1206.0 ab	2103.9 a
กำแพงแสน	38.2	1037.3 b	1396.0 b
F-test	ns	**	*
% C.V.	23.1	14.4	16.3

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*, ** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 12 ค่า leaf area index และ leaf area ratio ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	leaf area index[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			leaf area ratio (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		
	0	2	4	0	2	4
ทราย (control)	0.4	0.4	0.6	108.9	86.2	41.9
ปากช่อง	0.4	0.8	0.8	108.3	134.4	39.7
ตาคลี	0.4	0.5	0.8	128.3	159.7	42.2
กำแพงแสน	0.4	0.6	0.8	100.3	263.9	41.7
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% C.V.	30.2	25.2	20.2	31.4	56.1	19.4

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 13 ค่า crop growth rate และ relative growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	crop growth rate (กรัม/ดือน)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		relative growth rate (กรัม/กรัม/เดือน) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)	
	2	4	2	4
control	8.6	60.2 b	2.5	23.2
ปากช่อง	27.4	138.2 a	3.3	44.7
ตาคลี	20.2	131.5 a	3.2	43.8
กำแพงแสน	11.9	80.6 b	2.5	30.3
F-test	ns	*	ns	ns
% C.V.	43.2	26.3	14.4	17.8

หมายเหตุ [1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 14 ค่า specific leaf area และ net assimilation rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อในชุดดินต่าง ๆ เป็นเวลา 2 และ 4 เดือน

ชุดดิน	specific leaf area (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)		net assimilation rate (กรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อเดือน) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)	
	2	4	2	4
ทราย (control)	166.5	124.4	0.03	0.05
ปากช่อง	159.0	107.8	0.03	0.04
ตาคลี	149.2	121.2	0.02	0.05
กำแพงแสน	228.2	119.1	0.01	0.05
F-test	ns	ns	ns	ns
% C.V.	24.6	11.3	38.7	36.2

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 15 สมบัติบางประการของดินที่ใช้ในการศึกษาก่อน และหลังปลูกต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า อายุ 4 เดือน

ชุดดิน	ก่อนปลูก					หลังปลูก				
	pH (1g : 5ml)	Ece ($dS\ m^{-1}$)	ไนโตรเจน (% มวลแห้ง)	ฟอสฟอรัส (% มวลแห้ง)	โพแทสเซียม (% มวลแห้ง)	pH (1g : 5ml)	Ece ($dS\ m^{-1}$)	ไนโตรเจน (% มวลแห้ง)	ฟอสฟอรัส (% มวลแห้ง)	โพแทสเซียม (% มวลแห้ง)
ทราย (control)	7.8	0.16	-	-	-	7.5	0.11	-	-	-
ปากช่อง	4.5	0.13	0.06	0.16	0.09	5.2	0.04	0.06	0.11	0.05
ตาคลี	8.2	4.00	0.10	0.09	0.35	7.4	0.18	0.08	0.07	0.30
กำแพงแสน	7.1	28.20	0.03	0.10	0.55	7.1	1.56	0.03	0.07	0.49

ตารางผนวกที่ 16 เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า (%)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
		1	2	3	4
0	0 (control)	25.3 cde	21.9 cd	19.3	25.4 abc
	5	30.6 bcd	17.3 cd	24.8	29.9 abc
	10	27.5 cd	43.6 cd	47.9	41.1 a
	15	22.5 cdef	15.9 cd	28.1	38.9 ab
5	0	45.5 a	44.4 a	33.4	14.0 c
	5	27.6 cd	10.8 cd	17.7	39.2 ab
	10	25.6 cde	13.3 cd	33.9	31.5 abc
	15	43.5 ab	15.8 cd	34.9	15.8 c
10	0	32.4 abc	20.2 ab	29.5	21.9 abc
	5	21.6 cdef	12.2 cd	19.2	15.1 c
	10	28.3 cd	13.1 cd	12.2	15.8 c
	15	29.8 bcd	28.6 abcd	28.9	18.7 bc
15	0	10.9 ef	32.2 abc	31.9	31.2 abc
	5	22.1 cdef	24.3 cd	20.2	9.4 c
	10	9.7 f	33.2 abc	31.3	15.2 c
	15	16.7 def	26.6 bcd	17.9	19.0 abc
ไนโตรเจน		**	*	ns	*
ฟอสฟอรัส		ns	*	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		*	*	ns	*
% C.V.		29.5	40.7	44.6	47.8

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 17 เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	การเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดตับเต่า (%)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)				
0	26.5 b	24.7 ab	30.0	33.8 a
5	35.6 a	18.3 b	30.0	25.2 ab
10	28.0 ab	18.5 b	22.5	17.9 b
15	14.8 c	31.9 a	25.3	18.7 b
F-test	**	*	ns	*
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)				
0	28.6	26.9 a	28.5	23.1
5	25.5	16.2 b	20.5	23.4
10	22.8	28.6 a	31.3	25.9
15	28.1	21.7 ab	27.5	23.1
F-test	ns	*	ns	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 18 ความสูงของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	26.0	28.2	34.7	38.0	39.3 f
	5	34.0	30.7	36.2	39.2	40.3 f
	10	26.0	29.7	38.5	41.7	43.7 f
	15	31.5	30.8	39.7	42.3	44.0 f
5	0	26.0	32.2	48.0	53.0	55.7 e
	5	28.0	31.2	46.0	59.3	64.3 cd
	10	24.0	31.7	44.0	54.7	53.5 e
	15	27.5	31.2	45.3	58.7	58.3 de
10	0	31.0	33.8	54.3	60.3	62.7 cd
	5	27.0	32.8	55.3	62.7	60.0 de
	10	26.0	35.2	58.0	68.0	77.7 a
	15	26.0	29.0	55.9	64.0	69.0 bc
15	0	28.0	33.1	52.7	66.3	74.3 ab
	5	24.0	31.5	52.3	68.7	73.3 ab
	10	27.5	36.7	55.0	66.3	76.3 a
	15	29.0	31.0	50.9	70.0	69.3 bc
ไนโตรเจน			*	**	**	**
ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	*
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	**
% C.V.			7.9	7.2	7.5	6.3

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 19 ความสูงของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	ความสูงต้น (เซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)					
0	29.4	29.8 b	37.3 c	40.3 c	41.8 d
5	27.5	31.2 ab	45.3 b	58.7 b	58.3 c
10	27.5	32.7 a	55.9 a	63.7 ab	67.3 b
15	27.1	33.1 a	52.7 a	67.8 a	73.3 a
F-test		*	**	**	**
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)					
0	27.7	31.8	47.4	54.4	58.0 b
5	28.2	31.5	47.4	57.5	59.5 ab
10	25.9	33.3	48.9	57.7	62.8 a
15	28.5	30.5	47.9	58.7	60.2 ab
F-test		ns	ns	ns	*

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 20 ความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	ความกว้างต้น (เซนติเมตร) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	9.0	14.8	19.2	18.7	24.7
	5	10.5	18.2	24.7	21.0	30.0
	10	8.0	18.7	21.2	22.0	25.7
	15	10.0	19.7	22.0	26.7	22.0
5	0	11.0	21.0	29.7	31.7	41.3
	5	10.0	20.0	23.3	38.3	41.7
	10	13.0	17.2	30.7	39.7	50.0
	15	10.0	19.0	32.7	35.7	39.0
10	0	10.5	21.5	28.7	46.3	44.0
	5	8.0	18.6	28.7	53.3	51.7
	10	10.0	20.1	33.0	44.0	44.0
	15	10.5	20.3	31.0	43.0	48.3
15	0	11.0	22.0	36.0	44.7	46.7
	5	12.5	20.8	38.7	48.3	55.3
	10	11.5	22.7	43.0	50.3	54.7
	15	12.0	17.8	36.0	45.3	47.3
ไนโตรเจน			ns	**	**	**
ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
% C.V.			15.3	16.0	13.2	17.5

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 21 ความกว้างของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	ความกว้างต้น (เซนติเมตร)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)					
0	9.4	17.8	21.7 c	22.1 c	25.6 b
5	11.0	19.3	29.1 b	36.3 b	43.0 a
10	9.7	20.1	30.3 a	46.7 a	47.0 a
15	11.7	20.8	38.4 a	47.2 a	51.0 a
F-test		ns	**	**	**
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)					
0	10.4	19.8	28.4	35.3	39.2
5	10.2	19.4	28.8	40.2	44.7
10	10.6	19.6	32.0	39.0	43.6
15	10.6	19.2	30.4	37.7	39.2
F-test	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 22 มวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	มวลแห้งรวม (กรัม) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	1.0	1.9	2.2	3.0	4.2
	5	1.6	2.3	3.4	4.0	5.9
	10	1.0	1.9	3.5	4.5	6.7
	15	0.9	2.4	4.1	4.6	4.9
5	0	1.4	1.9	7.1	14.7	14.5
	5	1.4	2.1	4.6	11.3	16.6
	10	1.1	1.8	5.0	11.4	17.9
	15	1.0	2.2	6.3	10.8	16.9
10	0	1.4	2.4	7.8	16.9	23.0
	5	1.2	2.1	8.8	15.2	21.2
	10	1.0	1.6	9.0	12.8	25.2
	15	1.4	2.0	8.4	15.4	23.4
15	0	1.4	2.6	9.7	14.4	26.3
	5	1.1	2.4	8.4	17.9	27.6
	10	1.0	2.5	9.8	16.7	25.5
	15	1.2	2.2	8.7	15.4	23.6
ไนโตรเจน			ns	**	**	**
ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
% C.V.			22.0	17.4	16.5	13.3

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 23 มวลแห้งรวมของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	มวลแห้งรวม (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)					
0	1.1	2.1	3.3 c	4.0 c	5.4 c
5	1.2	2.0	5.7 b	12.0 b	16.5 b
10	1.2	2.0	8.5 a	15.1 a	23.2 a
15	1.2	2.4	9.1 a	16.1 a	25.8 a
F-test		ns	**	**	**
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)					
0	1.3	2.2	6.7	12.3	17.0
5	1.3	2.2	6.3	12.1	17.8
10	1.0	2.0	6.8	11.3	18.8
15	1.1	2.2	6.9	11.6	17.2
F-test		ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 24 มวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	มวลแห้งส่วนเหนือดิน (กรัม) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	0.7	1.2	1.5	2.0	2.6
	5	1.1	1.2	2.4	3.0	4.3
	10	0.8	1.3	2.7	3.2	4.5
	15	0.6	1.7	3.1	3.1	3.3
5	0	1.0	1.3	5.4	10.3	9.5
	5	1.0	1.4	3.5	8.2	11.5
	10	0.8	1.2	3.9	8.4	12.4
	15	0.8	1.4	4.9	8.2	11.5
10	0	1.0	1.8	6.2	11.9	16.1
	5	0.9	1.5	6.7	11.2	15.6
	10	0.8	1.1	7.2	9.8	19.7
	15	1.0	1.2	6.5	11.8	17.1
15	0	1.0	1.8	7.4	10.9	20.5
	5	0.8	1.7	6.8	14.0	20.4
	10	0.8	1.8	7.9	13.6	20.1
	15	0.9	1.5	6.9	12.1	17.8
ไนโตรเจน			*	**	**	**
ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	*
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
% C.V.			20.3	16.3	16.3	12.6

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 25 มวลแห้งส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	มวลส่วนเหนือดิน (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)					
0	0.8	1.4 b	2.4 c	2.8 c	3.7 d
5	0.9	1.3 b	4.4 b	8.8 b	11.2 c
10	0.9	1.4 b	6.7 a	11.2 a	17.1 b
15	0.9	1.7 a	7.3 a	12.6 a	19.7 a
F-test		*	**	**	**
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)					
0	1.0	1.5	5.1	8.7	12.2 c
5	1.0	1.4	4.9	9.1	12.9 ab
10	0.8	1.3	5.4	8.7	14.2 a
15	0.8	1.4	5.4	8.8	12.4 ab
F-test		ns	ns	ns	*

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 26 มวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	มวลแห้งส่วนใต้ดิน (กรัม) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	0.3	0.8	0.7	1.0	1.7
	5	0.2	1.0	1.0	1.1	1.6
	10	0.4	0.6	0.8	1.3	2.2
	15	0.2	0.7	1.0	1.5	1.6
5	0	0.3	0.6	1.7	4.4	5.0
	5	0.4	0.7	1.1	3.1	5.1
	10	0.4	0.7	1.0	3.0	5.5
	15	0.3	0.8	1.4	2.6	5.4
10	0	0.2	0.7	1.6	5.1	6.9
	5	0.3	0.6	2.1	4.0	5.5
	10	0.4	0.6	1.8	3.0	5.5
	15	0.2	0.8	1.9	3.6	6.3
15	0	0.4	0.8	2.3	3.5	5.9
	5	0.4	0.7	1.6	4.0	7.2
	10	0.3	0.7	1.9	3.1	5.4
	15	0.3	0.7	1.7	3.4	5.8
ไนโตรเจน			ns	*	**	**
ฟอสฟอรัส			ns	ns	*	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
% C.V.			35.8	26.3	22.3	20.4

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 27 มวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	มวลส่วนใต้ดิน (กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)					
0	0.3	0.8	0.9 c	1.2 c	1.8 b
5	0.3	0.7	1.3 b	3.3 b	5.2 a
10	0.3	0.7	1.8 a	3.9 a	6.0 a
15	0.3	0.7	1.9 a	3.5 ab	6.1 a
F-test		ns	*	**	**
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)					
0	0.3	0.7	1.5	3.5 a	4.9
5	0.3	0.8	1.4	3.0 ab	4.8
10	0.3	0.6	1.4	2.8 b	4.7
15	0.3	0.8	1.5	2.6 b	4.8
F-test		ns	ns	*	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 28 สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (กรัมต่อกรัม) ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	2.9	1.7	2.3	1.9	1.5
	5	3.0	1.4	2.5	2.7	2.6
	10	2.6	2.1	3.2	2.4	2.1
	15	3.5	2.4	3.1	2.2	2.1
5	0	2.9	3.2	3.2	2.3	1.9
	5	2.8	2.3	3.3	2.8	2.3
	10	2.6	1.8	3.8	2.7	2.2
	15	2.6	1.8	3.8	3.1	2.1
10	0	3.8	4.1	4.1	2.4	2.3
	5	3.3	2.4	3.2	2.8	2.9
	10	2.4	1.9	3.9	3.7	3.6
	15	3.5	1.6	3.6	3.3	2.7
15	0	2.8	2.4	3.5	3.1	3.5
	5	2.6	2.4	4.4	3.6	2.8
	10	2.6	2.6	4.1	4.4	3.7
	15	2.9	2.2	4.2	3.7	3.1
ไนโตรเจน			ns	**	**	*
ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
% C.V.			28.0	15.8	20.2	28.3

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 29 สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดินของต้นกล้ายูคาลิปตัส ภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	สัดส่วนมวลแห้งส่วนเหนือดินต่อมวลแห้งส่วนใต้ดิน (กรัมต่อกรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
	0	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)					
0	3.0	1.9	2.7 b	2.3 c	2.2 b
5	2.7	2.0	3.5 a	2.8 bc	2.2 b
10	3.2	2.2	3.7 a	3.0 b	2.9 a
15	2.7	2.4	4.0 a	3.7 a	3.3 a
F-test		ns	**	**	*
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)					
0	3.1	2.3	3.3	2.4	2.3
5	2.9	2.1	3.3	3.0	2.8
10	2.5	2.1	3.8	3.3	3.0
15	3.1	2.0	3.6	3.1	2.5
F-test		ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 30 ค่าพื้นที่ใบของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	พื้นที่ใบ (เซนติเมตร^2)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	38.2	69.5	121.8	134.3 g	149.6
	5	53.2	140.3	183.3	135.4 g	286.5
	10	43.5	92.2	211.7	185.6 g	272.9
	15	39.6	144.5	226.6	212.9 g	612.4
5	0	50.3	134.2	433.6	1136.3 ab	617.7
	5	55.5	108.9	325.2	672.1 ef	784.5
	10	47.9	110.1	421.7	713.2 ef	862.5
	15	42.4	126.2	497.3	759.7 de	736.6
10	0	58.6	172.9	594.0	920.7 cd	1011.2
	5	43.9	130.7	591.9	919.5 cd	1066.9
	10	43.5	158.8	702.9	1019.9 bc	1403.3
	15	60.3	114.0	596.1	1017.3 bc	1098.7
15	0	55.5	171.0	786.3	540.5 f	1399.6
	5	47.9	155.6	726.1	1243.9 a	1421.5
	10	42.4	203.1	849.2	1235.3 a	1457.5
	15	38.2	121.7	802.3	1086.5 abc	1258.2
ไนโตรเจน			*	**	**	**
ฟอสฟอรัส			ns	*	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	**	ns
% C.V.			32.8	13.7	14.2	20.8

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 31 ค่า leaf area index ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	ค่า leaf area index [1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	0.6	0.4	0.4	0.5 ef	0.3
	5	0.6	0.5	0.4	0.4 f	0.4
	10	0.9	0.3	0.6	0.5 f	0.6
	15	0.5	0.5	0.6	0.4 ef	1.6
5	0	0.6	0.4	0.6	1.5 ab	0.5
	5	0.7	0.3	0.8	0.6 cd	0.7
	10	0.4	0.5	0.6	0.6 cd	0.4
	15	0.5	0.4	0.6	0.7 bc	0.6
10	0	0.7	0.5	1.0	0.5 de	0.7
	5	0.9	0.5	1.0	0.4 cd	0.7
	10	0.5	0.5	0.8	0.7 a	0.9
	15	0.7	0.3	0.8	0.7 bcd	0.6
15	0	0.6	0.4	0.8	0.3 c	0.8
	5	0.4	0.5	0.6	0.7 bc	0.6
	10	0.4	0.5	0.6	0.6 abc	0.6
	15	0.5	0.5	0.8	0.7 f	0.7
ไนโตรเจน			ns	*	**	ns
ฟอสฟอรัส			ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			ns	ns	**	ns
% C.V.			26.3	30.7	28.4	69.7

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 32 ค่า leaf area ratio ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	leaf area ratio (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)				
		0	1	2	3	4
0	0	39.8	36.6 d	54.6	44.8 ef	35.5
	5	34.1	57.9 bcd	53.5	34.6 f	46.6
	10	44.0	47.4 cd	59.6	41.5 f	40.4
	15	43.0	60.3 bcd	56.0	46.3 ef	62.7
5	0	43.0	70.0 bc	61.3	77.3 ab	42.7
	5	38.5	52.6 cd	70.8	61.7 cd	47.3
	10	43.2	59.2 bcd	84.1	62.9 cd	49.8
	15	43.2	55.4 bcd	80.8	69.2 bc	44.3
10	0	43.5	71.0 bc	77.4	54.3 de	44.1
	5	35.7	61.2 bc	67.4	61.2 cd	50.5
	10	44.0	98.0 a	77.7	82.5 a	55.7
	15	43.0	58.1 bcd	71.5	66.4 bcd	47.0
15	0	38.5	64.6 bc	81.6	37.9 f	53.2
	5	43.2	64.1 bc	87.3	69.4 bc	52.1
	10	43.2	79.2 ab	87.8	73.9 abc	57.5
	15	47.6	56.9 bcd	93.5	70.6 abc	53.2
ไนโตรเจน			ns	**	**	ns
ฟอสฟอรัส			ns	*	*	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส			*	ns	**	ns
% C.V.			20.2	11.1	11.5	96.1

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 33 ค่า crop growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)	crop growth rate (กรัม/เดือน)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
		1	2	3	4
0	0	0.6	0.6	0.9 e	1.2
	5	0.8	1.3	1.5 e	2.2
	10	0.8	1.5	1.9 e	2.9
	15	0.8	1.4	1.9 e	1.7
5	0	1.4	4.9	10.3 cd	10.2
	5	1.4	3.2	7.7 d	11.4
	10	1.3	3.5	7.9 d	12.4
	15	1.6	4.6	7.8 d	12.2
10	0	1.9	6.1	13.3 ab	18.0
	5	1.6	6.8	11.8 bc	16.3
	10	1.3	7.4	10.5 c	20.6
	15	1.6	6.7	12.3 abc	18.8
15	0	2.0	7.6	11.4 bc	20.8
	5	2.0	6.9	14.8 a	22.8
	10	2.0	7.9	13.4 ab	20.4
	15	1.7	6.9	12.2 abc	18.7
ไนโตรเจน		**	**	**	**
ฟอสฟอรัส		ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		ns	ns	*	ns
% C.V.		17.5	17.8	16.5	13.3

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 34 ค่า crop growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	crop growth rate (กรัม/เดือน)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)				
0	0.8 c	1.2 c	1.5 c	2.0 d
5	1.4 b	4.0 b	8.4 b	11.6 c
10	1.6 b	6.7 a	11.7 a	18.4 b
15	1.9 b	7.3 a	12.9 a	20.7 a
F-test	**	**	**	**
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)				
0	1.5	4.8	9.0	12.6
5	1.5	4.5	9.0	13.2
10	1.4	5.0	8.4	14.1
15	1.4	4.9	8.5	12.8
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 35 ค่า relative growth rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ ดิน 1 กก.)	relative growth rate (กรัม/ กรัม/เดือน) [1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
		1	2	3	4
0	0	0.01	0.00 f	0.01	0.01
	5	0.02	0.01 e	0.00	0.01
	10	0.02	0.02 e	0.01	0.01
	15	0.02	0.02 e	0.00	0.00
5	0	0.02	0.04 bc	0.02	0.00
	5	0.02	0.03 de	0.03	0.01
	10	0.01	0.03 dc	0.03	0.01
	15	0.02	0.03 dc	0.02	0.01
10	0	0.02	0.04 dc	0.03	0.01
	5	0.02	0.05 ab	0.02	0.01
	10	0.01	0.06 a	0.01	0.02
	15	0.02	0.05 bc	0.02	0.01
15	0	0.03	0.04 bc	0.01	0.02
	5	0.02	0.04 bc	0.03	0.01
	10	0.02	0.04 bc	0.02	0.01
	15	0.02	0.05 bc	0.02	0.01
ไนโตรเจน		ns	**	**	ns
ฟอสฟอรัส		ns	*	ns	*
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		ns	*	ns	ns
% C.V.		44.0	20.1	48.5	50.7

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 36 ค่า specific leaf area ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ ดิน 1 กก.)	specific leaf area (ตารางเซนติเมตร/กรัม)[1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
		1	2	3	4
0	0	91.0	146.6	118.2 cd	88.0
	5	157.0	112.9	91.7 e	91.7
	10	104.2	117.9	90.1 e	94.1
	15	126.2	108.2	102.3 ed	92.2
5	0	133.9	116.1	233.4 a	104.7
	5	121.9	139.5	128.7 c	111.1
	10	141.9	159.5	134.2 bc	110.1
	15	133.3	149.8	140.7 f	102.1
10	0	145.1	144.3	122.8 cd	102.5
	5	134.2	131.5	131.0 bc	108.8
	10	154.9	146.8	154.4 b	116.2
	15	141.5	139.2	134.0 bc	105.5
15	0	132.8	155.5	60.3 f	109.2
	5	141.8	165.1	139.0 bc	116.8
	10	164.8	164.4	141.7 bc	122.5
	15	128.1	169.2	142.2 bc	116.6
ไนโตรเจน		ns	**	**	ns
ฟอสฟอรัส		ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		ns	ns	**	ns
% C.V.		14.6	13.5	10.0	15.6

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 37 ค่า specific leaf area ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ปริมาณธาตุอาหาร	specific leaf area (ตารางเซนติเมตร/กรัม) [1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
	1	2	3	4
ไนโตรเจน (มก./ดิน 1 กก.)				
0	119.6	121.4 b	100.6 d	166.5
5	132.8	141.2 b	159.3 a	107.0
10	143.9	140.5 b	135.6 b	108.2
15	141.9	163.6 a	120.8 c	116.3
F-test	ns	**	**	ns
ฟอสฟอรัส (มก./ดิน 1 กก.)				
0	125.7	140.6	133.7	101.1
5	138.7	137.3	122.6	107.1
10	141.4	147.2	130.1	110.7
15	132.3	141.6	129.9	179.1
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 38 ค่า net assimilation rate ของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 เดือน

ไนโตรเจน (มก./ ดิน 1 กก.)	ฟอสฟอรัส (มก./ ดิน 1 กก.)	net assimilation rate (กรัม/ตารางเซนติเมตร/เดือน) [1/] ภายหลังการปลูกเชื้อ (เดือน)			
		1	2	3	4
0	0	0.013	0.003 g	0.009 bcd	0.009 ab
	5	0.007	0.008 fg	0.018 a	0.007 ab
	10	0.010	0.009 ef	0.006 d	0.010 ab
	15	0.013	0.009 ef	0.006 d	0.005 bc
5	0	0.007	0.021 ab	0.009 bcd	0.001 c
	5	0.013	0.011 def	0.015 ab	0.008 ab
	10	0.007	0.012 def	0.013 abc	0.009 ab
	15	0.010	0.013 de	0.007 cd	0.008 ab
10	0	0.010	0.015 bcde	0.014 ab	0.007 ab
	5	0.010	0.021 ab	0.009 bcd	0.006 abc
	10	0.007	0.022 a	0.007 cd	0.012 a
	15	0.010	0.020 abc	0.009 bcd	0.009 ab
15	0	0.007	0.016 abcd	0.011 bcd	0.011 ab
	5	0.010	0.014 cde	0.011 bcd	0.008 ab
	10	0.010	0.016 abcde	0.007 cd	0.007 ab
	15	0.013	0.015 bcde	0.008 bcd	0.008 ab
ไนโตรเจน		ns	**	**	ns
ฟอสฟอรัส		ns	ns	ns	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		ns	*	ns	*
% C.V.		42.2	23.5	32.1	38.3

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 39 ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเหนือดินของต้นกล้ายูคาลิปตัสภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ความเข้มข้นเฉลี่ยเชิงมวลของส่วนเหนือดิน (% dry mass) [1/]		
(มก./ดิน 1 กก.)	(มก./ดิน 1 กก.)	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
0	0	0.3	0.1	0.3 d
	5	0.5	0.2	0.6 a
	10	0.3	0.3	0.5 abc
	15	0.4	0.4	0.6 ab
5	0	0.3	0.1	0.4 bcd
	5	0.4	0.2	0.4 bcd
	10	0.4	0.2	0.4 cd
	15	0.4	0.2	0.4 bcd
10	0	0.4	0.1	0.3 d
	5	0.4	0.2	0.4 cd
	10	0.6	0.2	0.5 abc
	15	0.4	0.2	0.4 cd
15	0	0.6	0.1	0.5 abcd
	5	0.6	0.2	0.4 d
	10	0.6	0.2	0.4 cd
	15	0.5	0.2	0.4 d
ไนโตรเจน		**	ns	*
ฟอสฟอรัส		ns	*	ns
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		ns	ns	*
% C.V.		19.2	40.5	16.8

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 40 ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ต้นกล้ายูคาลิปตัสดูดใช้สำหรับสร้างส่วนเหนือดินภายหลังการปลูกเชื้อ และได้รับไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในปริมาณต่าง ๆ อายุ 4 เดือน

ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในส่วนเหนือดิน (กรัม) [1/]		
(มก./ดิน 1 กก.)	(มก./ดิน 1 กก.)	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
0	0	1.1 e	1.5	1.5 g
	5	2.9 de	3.5	3.5 f
	10	2.3 e	3.4	3.4 f
	15	2.1 e	2.7	2.7 fg
5	0	5.0 cd	6.4	6.4 e
	5	6.1 c	7.2	7.2 de
	10	7.0 c	7.5	7.5 cde
	15	6.0 c	7.1	7.1 de
10	0	9.5 b	8.0	8.0 bcde
	5	9.4 b	9.0	9.1 bcd
	10	15.0 a	12.0	12.0 a
	15	9.6 b	8.8	8.8 bcd
15	0	16.1 a	12.5	12.5 a
	5	16.2 a	9.9	9.9 b
	10	15.9 a	9.5	9.5 bc
	15	11.4 b	8.4	8.4 bcde
ไนโตรเจน		**	**	**
ฟอสฟอรัส		**	**	*
ไนโตรเจน x ฟอสฟอรัส		**	ns	*
% C.V.		14.8	29.6	15.2

หมายเหตุ [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*,** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ตารางผนวกที่ 41 ธาตุอาหารตามสูตรของ Burgess *et al*. (1993) ประกอบด้วย

ชื่อสารเคมี	ความเข้มข้น (มก. ต่อดิน 1 กก., โดยน้ำหนัก)
NH_4NO_3	36
K_2SO_4	111.6
$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$	40
$CaSO_4.2H_2O$	51.5
$MgSO_4.7H_2O$	33.7
FeEDTA	25
$MnSO_4.4H_2O$	16.9
$CuSO_4.5H_2O$	8.2
$ZnSO_4.7H_2O$	9.2
$Na_2B_4O_7.7H_2O$	1.1
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4\ H_2O$	0.46
$CoCl_2.6H_2O$	0.34

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี และการเตรียมตัวอย่างพืชด้วยวิธีการทางพาราฟิน

การวิเคราะห์ความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืช

1. การเตรียมตัวอย่างพืช

1.1 การบดตัวอย่าง

บดตัวอย่างใบและลำต้นของต้นกล้ายูคาลิปตัสที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 72 ชั่งโมง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช

1.2 การย่อยสลายตัวอย่างพืช

ชั่งตัวอย่างพืชบด (จากข้อ 1.1) 1.000 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 75 มิลลิลิตร เติมส่วนผสมของกรด HNO_3 และ $HClO_4$ (อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร) 20 มิลลิลิตร predigest โดยอุ่นหลอดตัวอย่างในเครื่องย่อยสลายตัวอย่างพืช (VELP Scientifica รุ่น DK20) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิละ 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ยกตัวอย่างออกจากเครื่องย่อย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่น เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric flask กรองสารละลายดังกล่าวด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร เก็บสารละลายในขวดพลาสติกสำหรับนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

2.1 การวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัส (ศรีสม, 2547)

ใส่สารละลายตัวอย่างพืช (เตรียมไว้ข้างต้น) ปริมาตร 5 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง เติมสารละลาย vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Milton Roy รุ่น Spectonic Genesys 5) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานของฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0, 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส จากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่างพืช (\%)} = \frac{C \times Vt \times Vd \times 10^{-4}}{W \times Va}$$

C = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Va = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)
Vd = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยสลาย (มิลลิลิตร)
Vt = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

หมายเหตุ สารละลาย vanadomolybdate ประกอบด้วยส่วนผสมของ ammonium metavanadate 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร และ ammonium molybdate 12 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นโพแทสเซียม (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)

บรรจุสารละลายตัวอย่างพืช (เตรียมไว้ข้างต้น) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Analytic Jena รุ่น vario 6) ที่ความยาวคลื่น 766.5 นาโนเมตร เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากกราฟมาตรฐานของโพแทสเซียมความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณความเข้มข้นของโพแทสเซียมจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตัวอย่างพืช (\%)} = \frac{(Cs - Cb) \times Vd \times 10^{-4}}{W}$$

Cs = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Cb = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมใน blank (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Vd = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยสลาย (มิลลิลิตร)
W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

หมายเหตุ ถ้าปริมาณโพแทสเซียมของสารละลายตัวอย่างสูงกว่ากราฟมาตรฐาน ก่อนการวิเคราะห์ต้องเจือจางสารละลายดังกล่าวด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมตัวอย่างเนื้อเยื่อพืชทางพาราฟิน (ดัดแปลงจากวิธีของ เฟื่องฟ้า, 2549; Ruzin ,1999)

1. การเลือกและตัดชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพืช : เลือกตัวอย่างรากที่ต้องการศึกษา แช่น้ำนาน 10-30 นาที และตัดตัวอย่างปลายรากยาวประมาณ 1 เซนติเมตร

2. การฆ่าและคงสภาพเนื้อเยื่อพืช : แช่ตัวอย่างในน้ำยา fixative (FAA: formalin acetic acid alcohol) เพื่อให้เซลล์ตาย ยับยั้งขบวนการต่าง ๆ และคงสภาพเซลล์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เก็บไว้ในขวดแก้วที่มีฝาปิด

หมายเหตุ FAA (formalin acetic acid alcohol) ประกอบด้วย

แอลกอฮอล์ 95%	50	มิลลิลิตร
กรดอะซิติก	5	มิลลิลิตร
ฟอร์มาลิน	10	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	35	มิลลิลิตร

3. การดึงน้ำออกจากเซลล์ด้วยแอลกอฮอล์ : เทน้ำยา fixative ทิ้ง และแช่ตัวอย่างรากในเอธิลแอลกอฮอล์ 30 และ 50% ตามลำดับ ขั้นตอนละ 2-3 วัน

4. การทำความสะอาดชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพืช : แช่ตัวอย่างรากในน้ำยา TBA (tertiary butyl alcohol) series: ความเข้มข้น 50, 70, 85, 95, 100% ตามลำดับ ขั้นตอนละ 12 ชั่วโมง และ TBA บริสุทธิ์อีก 3 ครั้ง ๆ ละ 12 ชั่วโมง

หมายเหตุ ส่วนผสมของน้ำยา TBA ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีดังนี้

ส่วนผสม (มิลลิลิตร)	Tertiary butyl alcohol series				
	50%	70%	85%	95%	100%
น้ำกลั่น	50	30	15	-	-
เอธิลแอลกอฮอล์ 95%	40	50	50	45	-
Tertiary butyle alcohol	10	20	35	55	75
เอธิลแอลกอฮอล์ 100%	-	-	-	-	25

5. การแทรกซึมตัวกลางเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช : ใช้พาราฟินเป็นตัวกลาง (embedding medium) โดยแช่ตัวอย่างพืช (จากข้อ 4) ในสารละลายผสมของพาราฟินออยล์ (paraffin oil) และ TBA บริสุทธิ์ อัตราส่วน 1: 1 โดยปริมาตร นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นแช่ตัวอย่างพืชต่อไปในสารละลายผสมของ TBA บริสุทธิ์ พาราฟินออยล์ และพาราฟินบริสุทธิ์ (pure paraffin) อัตราส่วน 1: 1: 2 โดยปริมาตร และนำไปไว้ในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน และเปลี่ยนพาราฟินบริสุทธิ์อีก 3 ครั้ง ๆ ละ 1 วัน

6. การฝังเนื้อเยื่อพืชลงในพาราฟิน : จัดวางชิ้นส่วนรากให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการศึกษา ลงในแบบพิมพ์ (embedding mold) เทพาราฟินบริสุทธิ์และปล่อยให้แข็งตัวได้เป็น paraffin block

7. การตัดชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพืช : ตัดชิ้นส่วนของรากที่ฝังอยู่ใน paraffin block ตามแนวขวาง (cross section) ด้วยเครื่องไมโครโตมแบบล้อหมุน (rotary microtome) ความหนา 12 ไมโครเมตร ชิ้นส่วนเนื้อเยื่อที่ได้จะเป็นแผ่นบาง ๆ เรียกว่า ริบบอน (ribbon)

8. การติดแผ่นริบบอนบนสไลด์ : ช้อนริบบอนซึ่งลอยในน้ำอุ่น อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้สไลด์เคลือบด้วยสารเหนียวของฮอพท์ (Haupt's adhesive) และวางสไลด์บนเครื่องอุ่นสไลด์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ชิ้นส่วนรากติดแน่นบนสไลด์

9. การย้อมสี : ล้างพาราฟินออกด้วยไซลีน ไซลีนผสมแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ อัตราส่วน 1: 1 โดยปริมาตร แอลกอฮอล์ 95, 70, 50, 30% และน้ำสะอาด ตามลำดับ ขั้นตอนละ 3-5 นาที ย้อมชิ้นส่วนรากด้วยสีซาฟรานิน (safranin) 1% ในน้ำกลั่น นาน 12-15 ชั่วโมง ล้างสีส่วนเกินออกด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง และแอลกอฮอล์ 30, 50, 70 และ 95% ตามลำดับ ขั้นตอนละ 3 นาที จากนั้นย้อมสีฟาสต์กรีน (fast green) 1% ในแอลกอฮอล์ นาน 5 วินาที ล้างสีและพาราฟินส่วนเกินออกเพื่อให้สไลด์ใสด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ แอลกอฮอล์ผสมไซลีน อัตราส่วน 1: 1 โดยปริมาตร และไซลีนบริสุทธิ์ 3 ครั้ง ขั้นตอนละ 3-5 นาที

10. การปิดแผ่นสไลด์ : ทำความสะอาดแผ่นสไลด์ เช็ดบริเวณรอบ ๆ ตัวอย่างรากด้วยไม้พันสำลีชุบแอลกอฮอล์ 95% ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ โดยใช้ permount เป็นตัวกลางเพื่อให้กระจกติดแน่นอย่างถาวร ปล่อยให้สไลด์ตัวอย่างแห้ง และนำไปศึกษาลักษณะทางกายวิภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า