วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 6 (2): 59-78 (2565)

นิพนธ์ต้นฉบับ

ประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดป่าเศรษฐกิจต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนา

มนต์นรินทร์ เรืองจิตต์[1] สุธีระ เหิมฮึก[1*] จุฑามาศ อาจนาเสียว[1] และนครินทร์ สุวรรณราช[2]

รับต้นฉบับ: 14 พฤศจิกายน 2565 ฉบับแก้ไข: 7 ธันวาคม 2565 รับลงพิมพ์: 8 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) เป็นไม้เศรษฐกิจที่เป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมไม้ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามยางนาจัดเป็นไม้กลุ่มโตช้ามีรอบตัดฟันที่ 20 ถึง 30 ปี ทำให้มีระยะเวลารอคอยจนถึงรอบตัดฟันค่อนข้างนาน การนำเชื้อเห็ดเศรษฐกิจกลุ่มเอคโตไมคอร์ไรซามาใช้ในกระบวนการผลิตต้นกล้าอาจเป็นแนวทางในการส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตของยางนาได้ ดังนั้นจึงทำการทดสอบผลของเชื้อเห็ดป่าเศรษฐกิจกลุ่มเอคโตไมคอร์ไรซา 2 ชนิด ได้แก่ เห็ดระโงก (*Amanita vaginata*) และเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) และเห็ดกลุ่มย่อยสลายอินทรียสาร 1 ชนิด คือ เห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) ต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนา โดยปลูกเชื้อเห็ดทั้ง 3 ชนิดให้กับต้นกล้าอายุ 6 เดือน แล้วทำการวัดการเติบโตทุก ๆ เดือนเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการศึกษาพบว่า การใส่เชื้อเห็ดทั้งสามชนิดในกล้ายางนา มีผลต่อการเติบโตด้านความโตคอรากและความสูงทั้งหมดมากกว่ากล้าที่ไม่ใส่เชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ กล้าที่ใส่เชื้อเห็ดระโงกมีความโตคอรากเฉลี่ยในระยะเวลา 6 เดือนมากที่สุด รองลงมาคือ กล้าที่ใส่เชื้อเห็ดตับเต่า กล้าที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะ และกล้าที่ไม่ใส่เชื้อเห็ดมีค่าเท่ากับ 73.6±3.3, 70.5±2.5, 68.2±3.1 และ 66.6±2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ด้านความสูงทั้งหมดพบว่า กล้าที่ใส่เชื้อเห็ดตับเต่ามีความสูงทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ กล้าที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะ กล้าที่ใส่เชื้อเห็ดระโงก และกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดมีค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 41.89±0.75, 40.95±1.66, 40.37±1.10, 36.54±0.37 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการตรวจวิเคราะห์การเข้าอาศัยของเอคโตไมคอร์ไรซาในรากจากห้องปฏิบัติการพบว่า ต้นกล้าที่มีการใส่เชื้อเห็ดทั้ง 3 ชนิดมีการเข้าอาศัยบริเวณปลายราก โดยพบเส้นใยที่ปลายรากเกิดใหม่ ในกรรมวิธีที่มีการใส่เชื้อเห็ดระโงก และเชื้อเห็ดตับเต่า พบการเจริญของเส้นใยเข้าสู่รากชั้น epidermis ที่ 10 และ 30 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงความสามารถของเชื้อเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาในการเข้ากันได้กับรากพืชอาศัย

คำสำคัญ: กล้ายางนา เอคโตไมคอร์ไรซา เห็ดตับเต่า เห็ดระโงก เห็ดเผาะ

[1]คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50202

***ผู้รับผิดชอบบทความ**: Email: h.sutheera@gmail.com

วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 6 (2): 59-78 (2565)

ORIGINAL ARTICLE

Efficacy of Economic Mushrooms on the Growth Promotion of *Dipterocarpus alatus* Seedlings

Monnarin Rueangjit[1], Sutheera Hermhuk[1*], Chuthamat Atnaseo[1] and Nakarin Suwannarach[2]

Received: 14 November 2022 Revised: 7 December 2022 Accepted: 8 December 2022

ABSTRACT

Dipterocarpus alatus is an economically important tree species currently in demand within the wood product industry. However, *D. alatus* has a slow growth rate and will take 20-30 years before timber can be cut to harvest. Implementing the use of ectomycorrhizal fungi in its seedling production has potential to improve *D. alatus* growth. Therefore, effects of two species of ectomycorrhizal fungi, *Amanita vaginata* and *Astraeus odoratus*, and one species of saprotraphic fungus, *Phlebopus portentosus*, on growth of *D. alatus* were evaluated by inoculating 6-month old seedlings with each fungus and monitored growth monthly for 6 months.

The results showed that applications of ectomycorrhizal fungi significantly (95% confidence) increased root collar diameter and total height of *D. alatus*. After 6 months, *D. alatus* seedlings treated with *A. vaginata* had the highest root collar diameter of 73.6±3.3 mm followed by those treated with *P. portentosus*, *A. odoratus* and without fungal treatment at 70.5±2.5, 68.2±3.1 and 66.6±2.0 mm, respectively. In terms of total height, *D. alatus* seedlings treated with *P. portentosus* had the highest total height at 41.89±0.75 cm followed by *A. odoratus*, *A. vaginata* and without fungal treatment at 40.95±1.66, 40.37±1.10, 36.54±0.37 cm, respectively. Laboratory analysis for root colonization by ectomycorrhizal fungi indicated that the 3 fungi colonized *D. alatus* seedlings at the tips of new roots. Inoculation with *A. vaginata* and *P. portentosus* resulted in 10 and 30 % colonization in the epidermis indicated compatibility between the fungi and *D. alatus*.

Keyword: *Dipterocarpus alatus* seedling, Ectomycorrhiza (ECM), *Phlebopus portentosus*, *Amanita vaginata*, *Astraeus odoratus*.

[1]Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai Province 50290

[2]Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai Province 50202

[*]**Corresponding author**: h.sutheera@gmail.com

คำนำ

ป่าที่มีระบบนิเวศที่อุดมสมบูรณ์ จะพบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบของต้นไม้ที่ดีด้วย ทั้งปัจจัยที่ไม่มีชีวิต ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ สมบัติดิน และสภาพภูมิอากาศ และปัจจัยที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ในระบบรากของพืชทุกชนิดจะมีจุลินทรีย์หรืออราอาศัยในแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Symbiosis) (Inyod *et al*., 2022) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างรากพืชและรากลุ่มไมคอร์ไรซา (Moyersoen, 2006; Aggangan *et al*., 2013) โดยจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ ได้แก่ การเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ ส่งผลให้ต้นไม้สามารถดูดซึมและสะสมอาหารได้มากขึ้น (Sangthian & Sangwanit, 1994) นอกจากช่วยให้ต้นไม้เจริญเติบโตได้ดีแล้วยังช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mungklarat *et al.,* 2001) เนื่องจากเอคโตไมคอร์ไรซาที่อาศัยในระบบรากมีคุณสมบัติดูดซับน้ำ (Sim and Eom, 2006) และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชอาศัย พืชที่มีไมคอร์ไรซาอาศัยช่วยเพิ่มอัตราการรอดตายของเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่มีไมคอร์ไรซา (Nuangmek and Titayavan, 2020) รวมถึงช่วยลดสภาวะเครียดของพืชเมื่อเกิดสภาวะแห้งแล้งหรือขาดน้ำ (Cairney, 2011) โดยไมคอร์ไรซามีกิจกรรมในกระบวนการย่อยสลายและการหมุนเวียนของสารอาหารในดิน โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสที่ไมคอร์ไรซาช่วยในการเข้าถึงโดยการช่วยทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Tarah, 2017) สอดคล้องกับการศึกษาของ Suksawang (2014) จากการศึกษาผลการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดเผาะสิรินธรกับต้นกล้ายางนาให้ผลการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับคอรากมากกว่าต้นยางนาที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*)

ตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ที่ทรงแนะนำให้นำพรรณไม้ประจำถิ่นมาใช้ในการปลูกป่าทดแทนฟื้นฟูสภาพป่าไม้ที่เสื่อมโทรม และการสร้างป่าชุมชนเพื่อพัฒนาป่าไม้อย่างยั่งยืน โดยไม้ป่าวงศ์ยางเป็นพรรณไม้เด่นของป่าเขตร้อนในภูมิภาคเอเชีย และเป็นไม้ประจำถิ่นของประเทศไทยที่มีความสำคัญต่อวัฒนธรรมและใช้ในวิถีชีวิตของคนไทยมาอย่างยาวนาน และยังเป็นชนิดไม้สำคัญที่เป็นพืชอาศัยของเห็ดไมคอร์ไรซาและเห็ดป่าที่เป็นที่นิยมบริโภค เช่น เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) เห็ดระโงก (*Amanita vaginata*) และเห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) โดยเห็ดระโงกและเห็ดเผาะหนังเป็นกลุ่มเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา สำหรับเห็ดตับเต่าเดิมเคยเชื่อกันว่าเป็นกลุ่มเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซานั้น แต่จากรายงานวิจัยของ Zhang *et al*. (2017) พบว่ามีบทบาทเป็นเห็ดผู้ย่อยสลายอินทรียสาร สอดคล้องกับการศึกษาของ Kumla *et al*. (2016) ได้รายงานผลการรวบรวม *Phlebopus portentosus* sporocarps จากพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยและจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโมเลกุลพบการสร้างโครงสร้างคล้าย Ectomycorrhizal (ECM) ปกคลุมเหนือผิวรากของพืชอาศัยจึงไม่มีความชัดเจนว่า *Phlebopus portentosus* เป็นเชื้อรา Saprotrophic, parasitic หรือ ECM เช่นเดียวกับ Thongklang *et al*. (2010) ในการศึกษาสภาพการเพาะเลี้ยงการผลิตหัวเชื้อ

และการตอบสนองของโฮสต์ต่อเห็ดป่า *Phlebopus portentosus* สายพันธุ์ CMUHH121-005 พบว่า การผลิตมวลชีวภาพในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่ผสมด้วยสารละลาย Murashige และ Skoog ภายใน 30 วัน หลังการใส่เชื้อ *Phlebopus portentosus* และทำการบ่มโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C เป็นเวลา 60 วันในที่มืดเกิดการรวมตัวของ Mycelium และมีการสร้าง Fruiting bodies โดยไม่ต้องอาศัยโฮสต์ สำหรับไม้ยางนามีความหลากหลายในการเกิดเห็ดป่า และเป็นเห็ดป่าที่ชุมชนนิยมรับประทานอาทิ เห็ดไคล เห็ดระโงก เห็ดแดง เห็ดน้ำหมาก เป็นต้น (Unphim *et al*., 2017) ซึ่งมีการสำรวจชนิดเห็ดที่เกิดในป่าชุมชนดอนปู่ตา ของหมู่บ้านโพธิ์ชัย อำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม (Charoenmahavit, 2018) พบเห็ดที่กินได้มากกว่า 20 ชนิด โดยเห็ดแต่ละชนิดมีลักษณะการเกิดร่วมกับต้นไม้รวมถึงมีช่วงเวลาที่เกิดแตกต่างกัน เช่น เห็ดเผาะหนัง มักพบเกิดกับต้นไม้คือ ยางนา เต็ง รัง กุง พะยอม ในช่วงต้นของฤดูฝน ปัจจุบันชนิดไม้วงศ์ยางบางชนิดเป็นไม้หายากและใกล้สูญพันธุ์ เนื่องจากเป็นไม้ที่มีการเจริญเติบโตช้าและไม่นิยมปลูกทดแทน ดังนั้นการฟื้นฟูป่าและการปลูกป่าทดแทนไม้วงศ์ไม้ยางจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นอย่างเร่งด่วน โดยด้านฟื้นฟูป่าและด้านการสร้างแหล่งอาหารนั้น สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ยุทธศาสตร์ที่ 5 ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หมวดที่ 1 สร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนบนสังคมเศรษฐกิจสีเขียว (Office of the Secretary of the National Strategy Committee and the Office of the National Economic and Social Development Board, 2018) จากแนวพระราชดำริและแผนยุทธศาสตร์ชาติทำให้ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมและรณรงค์ให้มีการปลูกต้นไม้ อาทิ การใช้ไม้เป็นหลักประกันเงินกู้ การขายคาร์บอนเครดิต ตลอดจนความต้องการไม้ใช้สอยที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประชาชนมีความต้องการกล้าไม้เพิ่มขึ้น โดยองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ หรือ อ.อ.ป เป็นหน่วยงานหลักในการแจกจำหน่ายกล้าไม้สู่ประชาชนมียอดการผลิตกล้าไม้เพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน จึงทำให้เกิดตลาดกล้าไม้จำหน่ายไม้ป่าชนิดต่างๆ อีกทั้งการปลูกไม้ในภาคเอกชนเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้เนื้อไม้หรือจำหน่ายนั้นพบว่ามีระยะเวลารอคอยให้ไม้โตถึงรอบตัดฟันในไม้รอบตัดฟันสั้นที่ 5 ปีเป็นต้นไป จึงทำให้เกิดแนวคิดในการใช้เห็ดป่าที่มีมูลค่าในระยะกล้าต้นยางนาเพื่อช่วยในการสะสมอาหารให้ระบบราก รวมทั้งเป็นการสร้างอาหารหรือรายได้ให้กับผู้ทำการปลูกไม้ในช่วงที่รอรอบตัดฟัน และเป็นการเพิ่มมูลค่าของต้นกล้าไม้ยางนาที่เป็นไม้เศรษฐกิจ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยางนาต่อการใส่เชื้อเห็ดตับเต่า เห็ดเผาะหนัง เห็ดระโงก และไม่ใส่เชื้อเห็ดในสภาพโรงเรือน พื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งทั่วไปเป็นพื้นที่ป่าเต็งรัง โดยพื้นที่ป่าในปัจจุบันมีความเสื่อมโทรมจากการถูกทำลายจึงมีความสนใจในการศึกษาการเจริญเติบโตของไม้วงศ์ยาง โดยการใช้เชื้อเห็ดป่าคือ เห็ดตับเต่า เห็ดเผาะหนัง และเห็ดระโงก เพื่อให้เป็นอาหารและตอบสนองต่อการรักษาสมดุลภาพไว้ระหว่างผลตอบแทนกับความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติ ตลอดจนเป็นต้นแบบการ

ผลิตกล้าไม้ยางนาที่มีเชื้อเห็ดเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่ากล้าไม้จากมูลค่าพื้นฐานในท้องตลาดในการจำหน่าย หรือช่วยให้มีคุณภาพด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตทางอ้อมมากขึ้น และสามารถสร้างรายได้ในช่วงการรอคอยให้ไม้เจริญเติบโตจนถึงรอบตัดฟัน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วิธีการลงเชื้อเห็ดป่าในกล้าต้นยางนา

ใช้ต้นกล้ายางนาอายุ 6 เดือน จากหน่วยป้องกันรักษาป่าที่ ลพ. 2 (บ้านโฮ่ง) ทำการทดลองโดยใช้ถุงดินมีขนาด 3×9 เซนติเมตร มีส่วนผสมดินปลูก 5 ส่วน คือ แกลบ 3 ส่วน ปุ๋ยหมัก 1 ส่วน และดินทราย 2 ส่วน รดน้ำ 1 ครั้งในเวลา 8:00 น. ของทุกวัน ทำการวัดความสูงต้นจากระดับคอรากถึงปลายยอดในทุก Treatment ก่อนการใส่เชื้อเห็ด ขั้นตอนการลงเชื้อเห็ด ทั้งสามชนิดคือ เห็ดตับเต่า เห็ดเผาะหนัง และเห็ดระโงก ดำเนินการตามกรรมวิธีของ Inyod *et al.* (2022) โดยทำการลงเชื้อ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 หลังจากทำการวัดความสูงต้นก่อนการลงเชื้อเห็ด ครั้งที่ 2 หลังจากใส่เชื้อครั้งแรกแล้ว 1 เดือน โดยใช้เห็ดสดของเห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะหนัง อย่างละ 1 กิโลกรัม นำเห็ดแต่ละชนิดทำการปั่นแยกชนิดด้วยเครื่องปั่นผสมน้ำที่ผ่านการกรองและพักทิ้งไว้ 1 วัน ปริมาณ 1 ลิตร โดยก่อนการลงเชื้อเห็ดให้น้ำต้นกล้ายางนาในช่วงเช้าคือ 8:00 น. และให้น้ำในช่วงเย็นเวลา 17:00 ก่อนการใส่เชื้อ 1 วัน ทำการใส่เชื้อเห็ดในวันถัดไปและงดให้น้ำในวันที่ทำการใส่เชื้อเห็ดเพื่อให้ดินสามารถดูดซับเชื้อเห็ดได้ดีขึ้น จากนั้นทำการราดเชื้อเห็ดตับเต่าใน Treatment ที่ 2 เชื้อเห็ดระโงกใน Treatment ที่ 3 และเชื้อเห็ดเผาะหนังใน Treatment ที่ 4 ใช้เชื้อเห็ดปั่นปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาณด้วยน้ำสะอาดให้เป็น 100 มิลลิลิตร และราดรอบโคนต้นกล้ายางนา ทำเช่นเดียวกันในการลงเชื้อเห็ดในครั้งที่ 2

2. การศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าไม้

2.1 ศึกษาการเจริญเติบโตของไม้ยางนาร่วมกับการใส่เชื้อเห็ดป่า 3 ชนิด (เห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะหนัง) ซึ่งวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) จำนวน 4 Treatment โดย 1 Treatment มี 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น การจัดวางแบบกระจายซ้ำทั่วพื้นที่ ใช้ต้นกล้ายางนาในการทดลองจำนวน 200 ต้น ในแต่ละ Treatment ดังนี้

Treatment 1 กล้าไม้ยางนาปกติ (Control)

Treatment 2 กล้าไม้ยางนา ร่วมกับเห็ดตับเต่า 20 มิลลิลิตร

Treatment 3 กล้าไม้ยางนา ร่วมกับเห็ดเผาะหนัง 20 มิลลิลิตร

Treatment 4 กล้าไม้ยางนา ร่วมกับเห็ดระโงก 20 มิลลิลิตร

2.2 ทำการวัดอัตราการเจริญเติบโตโดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก (Root collar diameter) ด้วยตลับเมตร และความสูงจากระดับคอรากถึงปลายยอดก่อนราดเชื้อเห็ดทั้ง 4 Treatment หลักจากนั้นทำการวัดซ้ำทุกเดือนเป็นระยะเวลา 6 เดือน ทำการวัดความยาวราก โดยทำการสุ่มตัวอย่างต้นยางนาจำนวน 5 ต้นของแต่ละ Treatment จากนั้นทำการเอาดินออกจากราก ล้างรากให้สะอาดเช็ดรากให้แห้งและทำการวัดความยาวจากระดับคอรากจนถึงปลายราก ทำการสำรวจราคากล้ายางนาอายุไล่เลี่ยกันที่มีการใส่เชื้อ

เห็ดป่าในท้องตลาด เปรียบเทียบราคาขายกล้าปกติที่ไม่ราดเชื้อเห็ด ประเมินราคากล้ายางนาที่ใส่เชื้อเห็ดเบื้องต้น ในการเป็นแนวทางสำหรับการเพิ่มมูลค่าของกล้าไม้ยางนา

3. **การตรวจการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดบริเวณรากของกล้ายางนาในห้องปฏิบัติการ**

ทำการสุ่มกล้ายางนาจาก 4 Treatment ในเดือนที่ 6 Treatment ละ 5 ต้น ตามกรรมวิธีของ Kumla *et al*. (2016) เพื่อทำการตรวจการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดบริเวณรากของกล้ายางนาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการดูลักษณะปลายราก การเข้าปกคลุมของเส้นใยบริเวณรอบปลายราก และทำการดูการเข้าอาศัยของเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาภายในเซลล์ของรากต้นยางนา โดยวิธีการคือ นำตัวอย่างที่ทำการสุ่มทำการเอาดินออกจากราก จากนั้นทำความสะอาดราก แช่รากในบีกเกอร์ 1 ตัวอย่างต่อ 1 บีกเกอร์ แช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอิ่มตัวและละลายออกจากราก ในระหว่างที่ทำการแช่ให้ทำการเขย่าต้นยางนา 3-4 ครั้ง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ให้ทำการเปลี่ยนน้ำบีกเกอร์เป็นน้ำกลั่น นำตัวอย่างดูลักษณะรากผ่านน้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา (Light microscope) ใช้ Tissue Forceps ตัดชิ้นส่วนของ Root tip ที่พบการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดลงใน Petri dish ที่ใส่น้ำกลั่น Treatment ละ 20 ชิ้นส่วน ภายใต้กล้อง Stereo microscope (Olympus TL3, Japan) นำชิ้นส่วนรากที่ได้เข้าดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ Phase contrast microscope (Olympus CX51, Japan) เลือกชิ้นส่วนที่แสดงการเข้าอาศัยของรา และทำการตัดตามแนวขวาง treatment ละ 10 ชิ้น จากนั้นนำเอาส่วนรากที่ทำการเลือกตัดตามแนวขวางของรากวางบนกระจกสไลด์ใช้สาร Lactophenol หยดลงบนชิ้นส่วนที่ทำการตัด ทำการตรวจดูลักษณะ Root Colonization ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชีวภาพ Biological Microscope (Nikon ECLIPSE E200LED-T-C, Japan) ทำการบันทึกภาพ และบันทึกผลของเส้นใยทั้งเห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะที่เข้าสู่ระบบรากต้นกล้ายางนา โดยแบ่งเป็นการเข้า 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 การปกคลุมบริเวณผิวด้านนอกของรากต้นกล้ายางนาเรียกว่า Mantle โดยทำการนับการเข้าอาศัยกับรากพืชจากชิ้นส่วนรากที่ทำการสุ่ม 20 ชิ้นส่วน ด้วยกล้อง Stereo microscope สำหรับระดับที่ 2 คือ เส้นใยบางส่วนแผ่เข้าไปในชั้น Epidermis ทำการตรวจดูลักษณะ Root colonization ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชีวภาพ Biological Microscope จากชิ้นส่วนรากที่ตัดตามขวาง Treatment ละ 10 ชิ้นส่วน

4. **การสำรวจราคากล้ายางนาในตลาดกล้าไม้ป่าพื้นที่ จังหวัดชียงใหม่ และจังหวัดลำปาง**

ทำการสำรวจราคากล้ายางนาในตลาดกล้าไม้ป่าอายุไล่เลี่ยกันที่มีการใส่เชื้อเห็ดป่าในท้องตลาด เพื่อเปรียบเทียบราคาขายกล้าปกติที่ไม่ราดเชื้อเห็ด และราดเชื้อเห็ด เพื่อประเมินราคากล้ายางนาที่ใส่เชื้อเห็ดเบื้องต้น แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล (Figure 1)

5. **การวิเคราะห์ข้อมูล**

5.1 ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยขนาดความโตระดับคอราก ความสูงต้นยางนาจากระดับคอรากถึงปลายยอด และความยาวรากจากระดับคอรากถึงปลายรากของทั้ง 4 Treatment โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Fisher's Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรมแกรม Star 2.0.1

5.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ (R) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าสหสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางลบ (-) และทิศทางบวก (+) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 0 และ 0 ถึง +1 โดยสามารถแปลความหมายจากระดับความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ เพื่อหาแนวความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตของความโต ความสูง และความยาวรากในแต่ละเดือนกับปริมาณของเชื้อเห็ดแต่ละชนิด

5.3 การหาร้อยละของ Root colonization โดยการปกคลุมผิวราก Treatment ละ 20 ชิ้นต่อ Treatment และการ Colonization ในชั้น Epidermis Treatment ละ 10 ชิ้น ใช้สัญลักษณ์ดังนี้

เมื่อ N = จำนวนชิ้นส่วนราก

สัญลักษณ์ 0 = ไม่พบการเข้าอาศัยของเส้นใยเห็ดในรากของต้นกล้ายางนา

1 = มีการเข้าอาศัยของเส้นใยในรากของต้นกล้ายางนา

Date.....			Study site……	
Number	Name of shop	Age of seedling	Ectomycorrhizal fungi	Price of seedling

Figure 1 Price survey form of *Dipterocarpus alatus* seedlings with wild mushroom spawn inoculating.

ผลและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตของกล้ายางนา

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ายางนาหลังการใส่เชื้อเห็ดป่าชนิดเห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะหนัง เปรียบเทียบกับ Treatment ที่ไม่มีการให้เชื้อเห็ด (Control) โดยทำการวัดในทุกเดือนเป็นระยะเวลา 6 เดือน และในเดือนที่ 6 หลังการให้เชื้อเห็ดทำการสุ่มตัวอย่างกล้ายางนาจำนวน 5 ต้นของทั้ง 4 Treatment ทำการวัดความยาวรากที่ระดับคอรากถึงปลายรากได้ผลดังนี้

1.1 การเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางระดับคอราก พบว่าขนาดของลำต้นที่ระดับคอรากของต้นกล้าในเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 5 ทุกกรรมวิธีไม่พบความแตกต่างทางสถิติ สำหรับเดือนที่ 6 ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับคอรากใน Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดระโงกมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด รองลงมาคือ Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดตับเต่า เห็ดเผาะหนัง และกรรมวิธีที่ไม่มีการให้เชื้อเห็ด (Control) ที่ 73.6, 70.5, 68.2 และ 66.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Table 1 and Figure 2 A)

Table 1 Average growth of collar root diameter of *Dipterocarpus alatus* seedlings after inoculating of *Phlebopus portentosus, Amanita vaginata* and *Astraeus odoratus* compared with non-inoculating (control).

Treatment	Collar root diameter (mm)					
	1	2	3	4	5	6
Control	48.4±3.1	52.7±3	55.6±2.1	58.2±1.5	61.5±2.1	66.6±2c[1/]
Phlebopus portentosus	47.5±4	50.7±4.3	53.5±4.7	56.4±5.2	62.1±3.3	70.5±2.5ab
Amanita vaginata	50±2.4	53±1.6	55.1±1.7	57.4±1.5	64±1.8	73.6±3.3a
Astraeus odoratus	46.7±3	50.9±3.5	52.6±3.6	55±4.6	60±3.9	68.2±3.1bc
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	**
p-value	0.4373	0.5841	0.4430	0.5424	0.2253	0.0060
CV (%)	6.61	6.28	6.05	6.41	4.73	3.97

** Results are means ± SD of 5 replicates. Data with different letters within the same column indicate a significant difference at $p \leq 0.01$ according to LSD test.

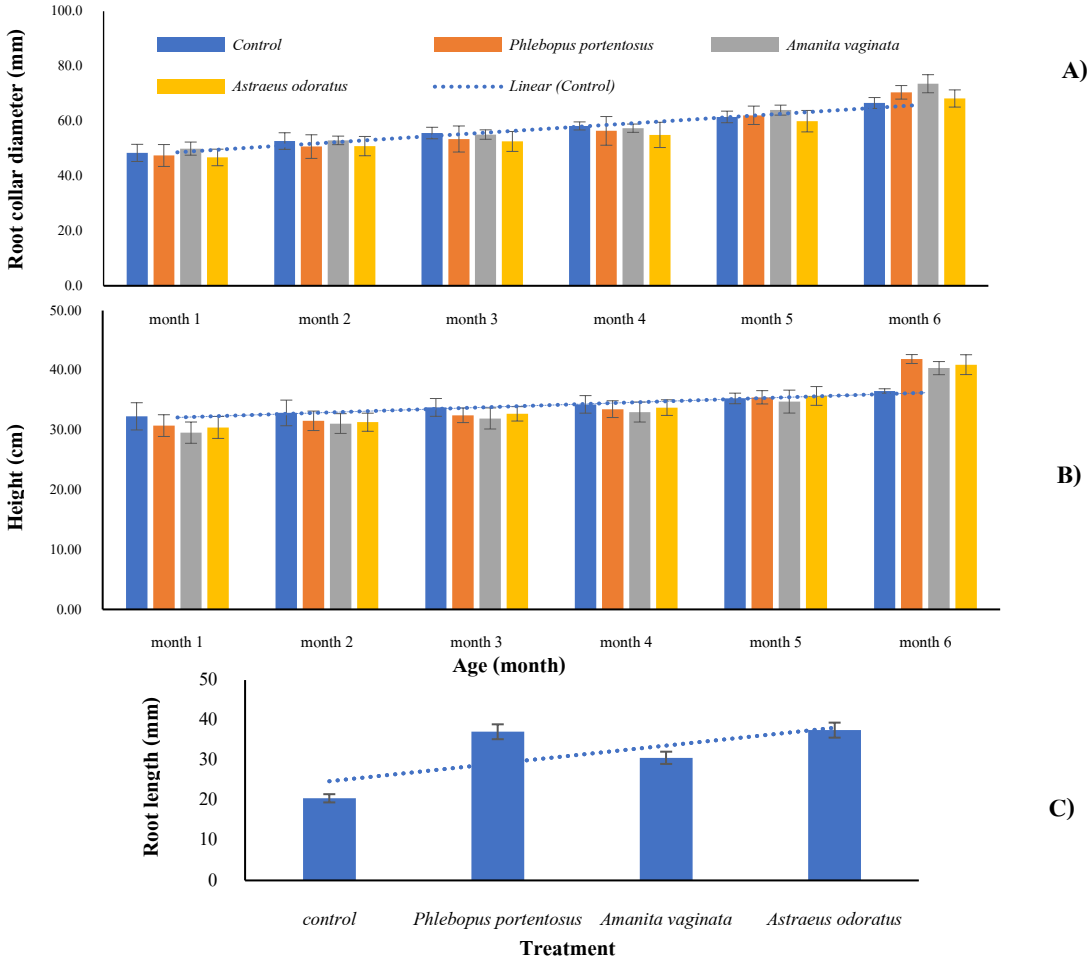

Figure 2 Monthly growth average of *Dipterocarpus alatus* seedling after inoculating of *Phlebopus portentosus*, *Amanita vaginata* and *Astraeus odoratus* compared with non-inoculating; A) average of root collar dimeter, B) average of height, and C) average root length.

1.2 การเติบโตด้านความสูงทั้งหมด พบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 5 ขณะที่เดือนที่ 6 ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นกล้ายางนามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ใน Treatment ที่ให้ค่าเฉลี่ยความสูงต้นสูงที่สุดคือ Treatment ใส่เชื้อเห็ดตับเต่า 41.89 เซนติเมตร รองลงมาคือ Treatment ใส่เชื้อเห็ดเผาะหนังที่ 40.95 เซนติเมตร เห็ดระโงกที่ 40.37 เซนติเมตร และ Treatment ที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ด (Control) มีค่าเฉลี่ยความสูงน้อยที่สุดที่ 36.54 เซนติเมตร (Table 2 and Figure 2 B)

1.3 การเติบโตด้านความยาวรากที่ระดับคอรากถึงปลายราก จากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ต้นของทั้ง 4 Treatment พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวรากกล้ายางนาที่มีการใส่เชื้อเห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะหนัง คือ 37.1, 37.1 และ 37.5 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3) โดย Treatment ที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ด (Control) มีค่าเฉลี่ยความยาวรากที่ 20.5 เซนติเมตร ความยาวรากของกล้ายางนาที่ใส่เชื้อเห็ดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ Treatment ที่มีการใส่เชื้อเห็ดตับเต่าและเห็ดเผาะมีความยาวรากมากกว่า Treatment ที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (Figure 2 C and Figure 3)

Table 2 Average growth of height of *Dipterocarpus alatus* seedlings after inoculating of *Phlebopus portentosus*, *Amanita vaginata* and *Astraeus odoratus* compared with non-inoculating (control).

Treatment	Total height (cm)					
	1	2	3	4	5	6
Control	32.30±2.28	32.87±2.14	33.80±1.49	34.30±1.47	35.30±0.88	36.54±0.37c[1/]
Phlebopus portentosus	30.75±1.82	31.55±1.63	32.48±1.22	33.51±1.40	35.49±1.11	41.89±0.75a
Amanita vaginata	29.57±1.78	31.10±1.66	31.95±1.76	33.02±1.67	34.77±1.92	40.37±1.10b
Astraeus odoratus	30.40±1.84	31.32±1.52	32.72±1.20	33.76±1.31	35.72±1.57	40.95±1.66ab
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	***
p-value	0.2031	0.4033	0.2648	0.5880	0.8046	0.0000
CV (%)	6.30	5.53	4.40	4.36	4.29	2.70

*** Results are means ± SD of 5 replicates. Data with different letters within the same column indicate a significant difference at $p \leq 0.001$ according to LSD test.

1.4 ผลการสำรวจราคากล้ายางนาของตลาดกล้าไม้ป่า พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำปาง ที่ทำการใส่เชื้อเห็ดป่า ทำการเก็บข้อมูลวันที่ 29 สิงหาคม 2565 สถานที่เก็บข้อมูล ตลาดคำเที่ยง จังหวัดเชียงใหม่ และวันที่ 1 กันยายน ที่ตลาดต้นไม้ จังหวัดลำปาง (สำรวจทั้งหมด 6 ร้าน) พบว่าชนิดเห็ดที่มีการนำมาใส่ลงกล้าไม้ป่ามีเห็ดเผาะหนัง เห็ดระโงก เห็ดตับเต่า เห็ดแดงน้ำหมาก และเห็ดด่าน ราคาขายต้นกล้าที่มีเชื้อเห็ดเฉลี่ยที่ 66.7 บาท และต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดมีราคาเฉลี่ยที่ 27.5 บาท ราคาขึ้นอยู่กับขนาดความสูงของต้นกล้า (Table 4)

Table 3 Average of root length of *Dipterocarpus alatus* seedlings after inoculating of *Phlebopus portentosus*, *Amanita vaginata* and *Astraeus odoratus* compared with non-inoculating (control).

Treatment	Root length (cm)	
	Maximum - Minimum	Mean
Control	29 - 10.5	20.5±7.57b[1/]
Phlebopus portentosus	55 - 26.5	37.1±11.22a
Amanita vaginata	33 - 24	30.6±3.78ab
Astraeus odoratus	31 - 45.5	37.5±10.35a
F-test	-	**
p-value	-	0.0090
CV (%)	-	24.23

** Results are means ± SD of 5 replicates. Data with different letters within the same column indicate a significant difference at $p \leq 0.01$ according to LSD test.

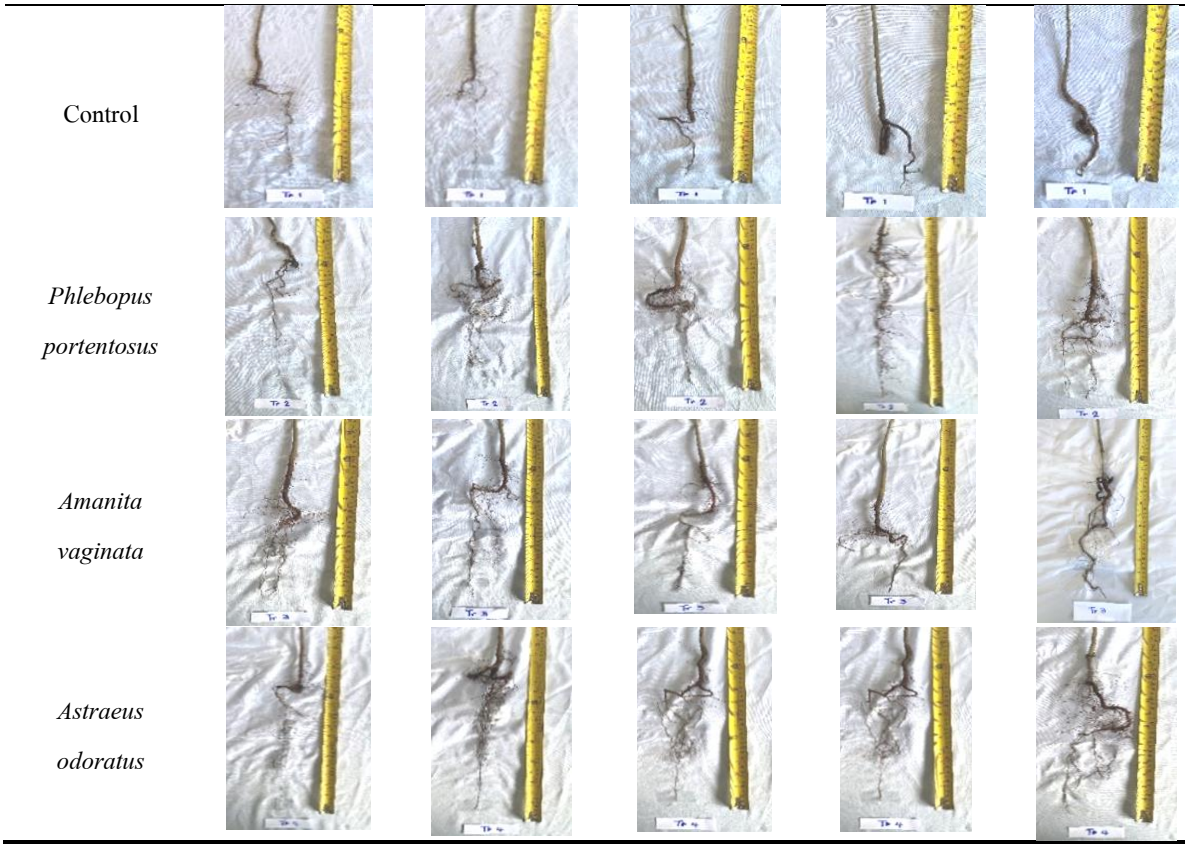

Figure 3 Root length and characteristics of *Dipterocarpus alatus* seedlings after inoculating by wild mushroom at 6-month old.

1.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางและความ

ยาวรากของต้นกล้าที่ใส่เชื้อเห็ดป่าชนิดเห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะหนัง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความยาวรากและเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่า P-value > 0.05 ไม่พบนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าสังเกตมีไม่เพียงพอในระดับที่สรุปได้ว่าตัวแปรความยาวรากและเส้นผ่านศูนย์กลางมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง สำหรับด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากมีค่า R 0.574 โดย P-value ≤ 0.05 ที่ 0.0325 ซึ่งค่าสังเกตมีเพียงพอในระดับที่สรุปได้ว่าตัวแปรด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและความยาวรากที่มีค่า R 0.969 และค่า P-value ≤ 0.05 ที่ 0.0374 ค่าสังเกตมีเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าตัวแปรความสูงและความยาวรากมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

Table 4 The price of *Dipterocarpus alatus* seedling which were inoculated by wild mushroom spawn in the tree market areas, Chiang Mai and Lampang Province.

No.	Stores	Type	Seedling size (cm)	Price of seedlings (baht)	
				without mushroom	inoculated with mushroom
1	Yothin Phanmai Shop	*P. portentosus*, *R. virescens*	75	15	25
2	Pongphatcharin shop	*A. odoratus, A. vaginata*	80	20	30
3	Suan Chaiyaphruek Shop	A. odoratus, *A. vaginata*, *R. emetica*	80-90	25	50
4	Natchaya Garden	*A. odoratus*	150	35	100
5	Suksawat tree shop	*A. vaginata, P. portentosus*	90	35	75
6	Suan Sukjai	*A. odoratus*	100	35	120

จากนั้นทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ระหว่างตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยมีผลคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ เส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.0746 ความสูง + 3.987 ค่า R^2 = 0.3294 เมื่อความสูงต้นเพิ่มขึ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ด้านความสัมพันธ์ระหว่างความยาวยากและความสูง พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ความสูง = 0.272 ความยาวราก + 30.948 ค่า R^2 = 0.9392 กล่าวคือ เมื่อความยาวรากเพิ่มขึ้นความสูงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Figure 4)

2. การตรวจสอบการเข้าอาศัยของเชื้อไมคอร์ไรซาในห้องปฏิบัติการ

การตรวจสอบการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดป่าบริเวณรากของกล้ายางนาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการดูลักษณะรากด้วยกล้องจุลทรรศน์ การเข้าปกคลุมของเส้นใยบริเวณรอบปลายราก

ลักษณะรากที่มีการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ด และทำการดูการเข้าอาศัยภายในเซลล์ของรากต้นยางนาจากการสุ่มกล้ายางนาจาก 4 Treatment หลังให้เชื้อ 6 เดือน มีผลดังนี้ ลักษณะของรากที่มีการเข้าอาศัย และการปกคลุมของเส้นใยเห็ดบริเวณรอบผิวด้านนอกของรากต้นยางนา (Figure 5) พบว่ารากที่มีการเข้าอาศัยของราพบมีลักษณะบวมโตเมื่อเทียบกับรากที่ไม่มีการเข้าอาศัยของรา และเกิดขึ้นบริเวณปลายรากในส่วนเซลล์ขนราก (Root hair cell)

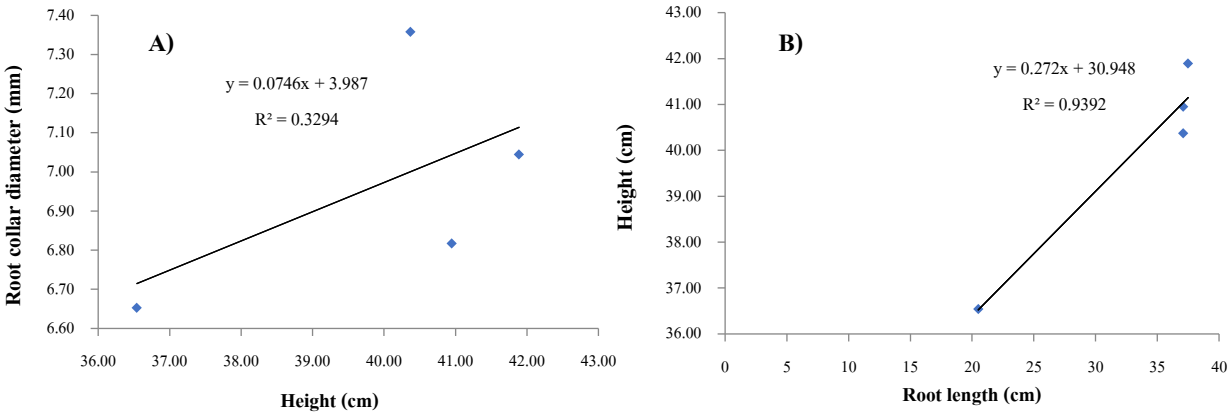

Figure 4 Regression analysis between correlated variables; A) height and root collar diameter, and B) root length and height.

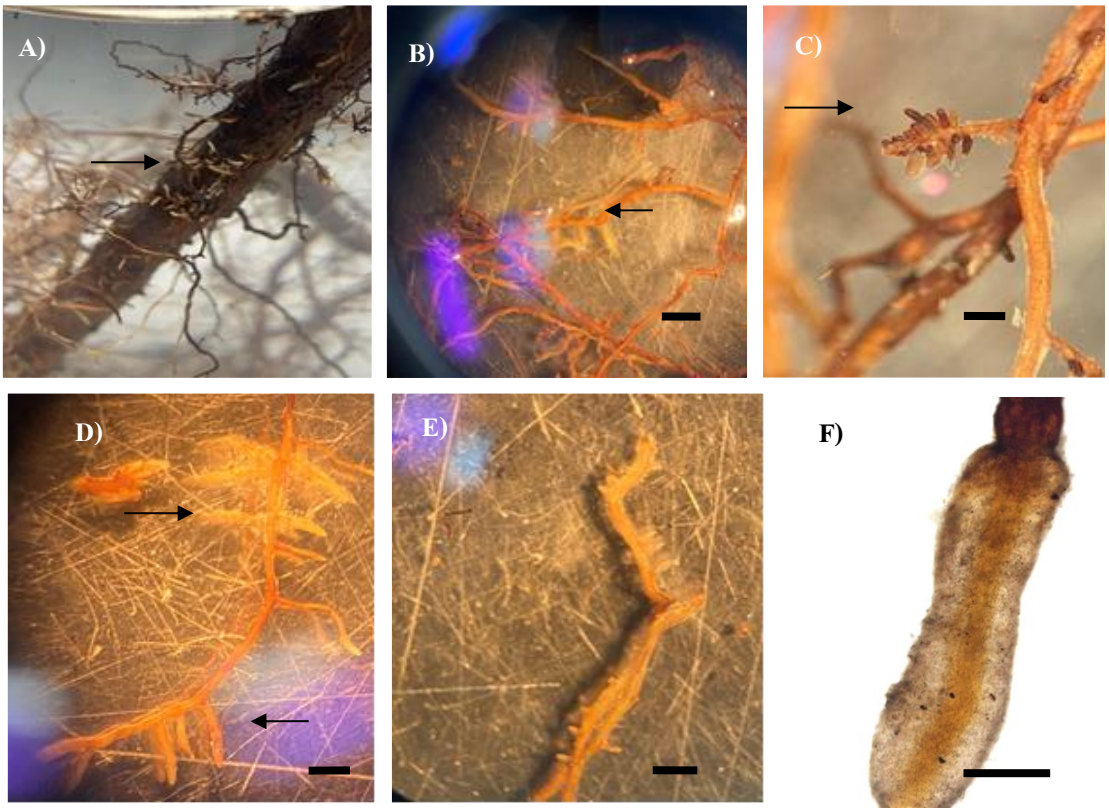

Figure 5 Morphological characteristics of *Dipterocarpus alatus* seedling on roots colonized with tomycorrhiza; A) naked eye view of *Astraeus odoratus*, B and C) colonized with *Phlebopus portentosus*, D) colonized with *Amanita vaginata*, E) colonized with *Astraeus odoratus*, and F) root tip with inoculated by *Astraeus odoratus*. (Scale bars: B-E 50 mm; F 20 µm)

ลักษณะการปกคลุมของเส้นใยบริเวณรอบผิวด้านนอกของรากต้นยางนา พบว่า Treatment ที่มีการใส่เชื้อเห็ดทั้ง 3 Treatment มีเส้นใยเข้าปกคลุมผิวด้านนอกของรากทุก Treatment (Table 4) โดยพบมีเส้นใยเจริญปกคลุมผิวด้านนอกของรากและมีการแผ่ของเส้นใยออกมาภายนอกราก โดยภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นการเรียงตัวเป็นรูปแบบจำเพาะบนผิวราก (Mantle layer) บริเวณปลายรากที่เกิดใหม่ สำหรับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดไม่พบการเข้าปกคลุมของเส้นใยบริเวณผิวราก (Figure 6)

2.2 การแผ่เส้นใยของเชื้อเห็ดในชั้นเซลล์ Epidermis และชั้นเซลล์ Cortex เมื่อทำการดูการลักษณะเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า Treatment ที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดไม่พบการเข้าอาศัยของเส้นใยเชื้อเห็ด โดย Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดทั้ง 3 Treatment ไม่พบการแผ่เส้นใยเข้าไปในชั้น Cortex เซลล์ สำหรับเซลล์ชั้น Epidermis พบว่า Treatment ที่มีการใส่เชื้อเห็ดตับเต่าไม่มีการแผ่เส้นใยเข้าสู่เซลล์ชั้น Epidermis โดย Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดระโงกมีการแผ่นเส้นใยเข้าสู่เซลล์ Epidermis 10 เปอร์เซ็นต์ และ Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะมีการแผ่เส้นใยเข้าเซลล์ชั้น Epidermis 30 เปอร์เซ็นต์ ใน Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะยังพบลักษณะของเซลล์ชั้นบนสุดของเส้นใยใน Pileus ของเชื้อราที่เรียกว่า *Pileipellis hyphae* โดยการเข้าอาศัยของราในเซลล์ชั้น Epidermis เป็นการเจริญเข้าสู่ชั้นเซลล์เพียงชั้นแรกของชั้นเซลล์ Epidermis ซึ่งเป็นการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดระยะเริ่มต้นหลังจากมีการปกคลุมเส้นใยบริเวณรอบผิวราก (Table 5 and Figure 7)

Table 5 Colonization of hyphae in the root system covering the root surface and epidermis cell in plant

Treatment	Colonized (%)	
	mantle layer	epidermis
Control	0	0
Phlebopus portentosus	100	0
Amanita vaginata	100	10
Astraeus odoratus	100	30

ประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดป่าต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนาที่ทำการใส่เชื้อเห็ดป่าเศรษฐกิจ คือเห็ดตับเต่า เห็ดระโงก และเห็ดเผาะ จากการทดลองใส่เชื้อเห็ดป่าให้กับกล้ายางนาอายุ 6 เดือน ทำการใส่เชื้อจำนวน 2 ครั้ง มีระยะห่างของการใส่เชื้อครั้งแรกและครั้งที่ 2 ห่างกัน 1 เดือน และเก็บผลการเจริญเติบโตเป็นเวลา 6 เดือน นับจากการใส่เชื้อ พบว่า Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดป่าทุก Treatment มีความแตกต่างทางสถิติในเดือนที่ 6 สำหรับเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 5 การเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง ความโตระดับคอราก และความยาวรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ Treatment ควบคุมที่ไม่มีการใส่เชื้อ สอดคล้องกับการรายงานของ Thongjiem *et al*. (2018) ที่ศึกษาการเพาะเลี้ยงเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาชนิดกินได้ในกล้าไม้โตเร็ว พบว่าการใส่เชื้อเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) ในกล้าไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) และไผ่ซางนวล

(*Bambusa bambos*) อายุ 1 เดือนเมื่อครบ 4 เดือน ทั้งกระถินเทพาและไผ่ซางนวลมีการเจริญเติบโต ดีกว่าการไม่ใส่เชื้อเห็ด แต่ไม่พบการฟอร์มเส้นใยไมคอร์ไรซาในรากกระถินเทพาและไผ่ซางนวล

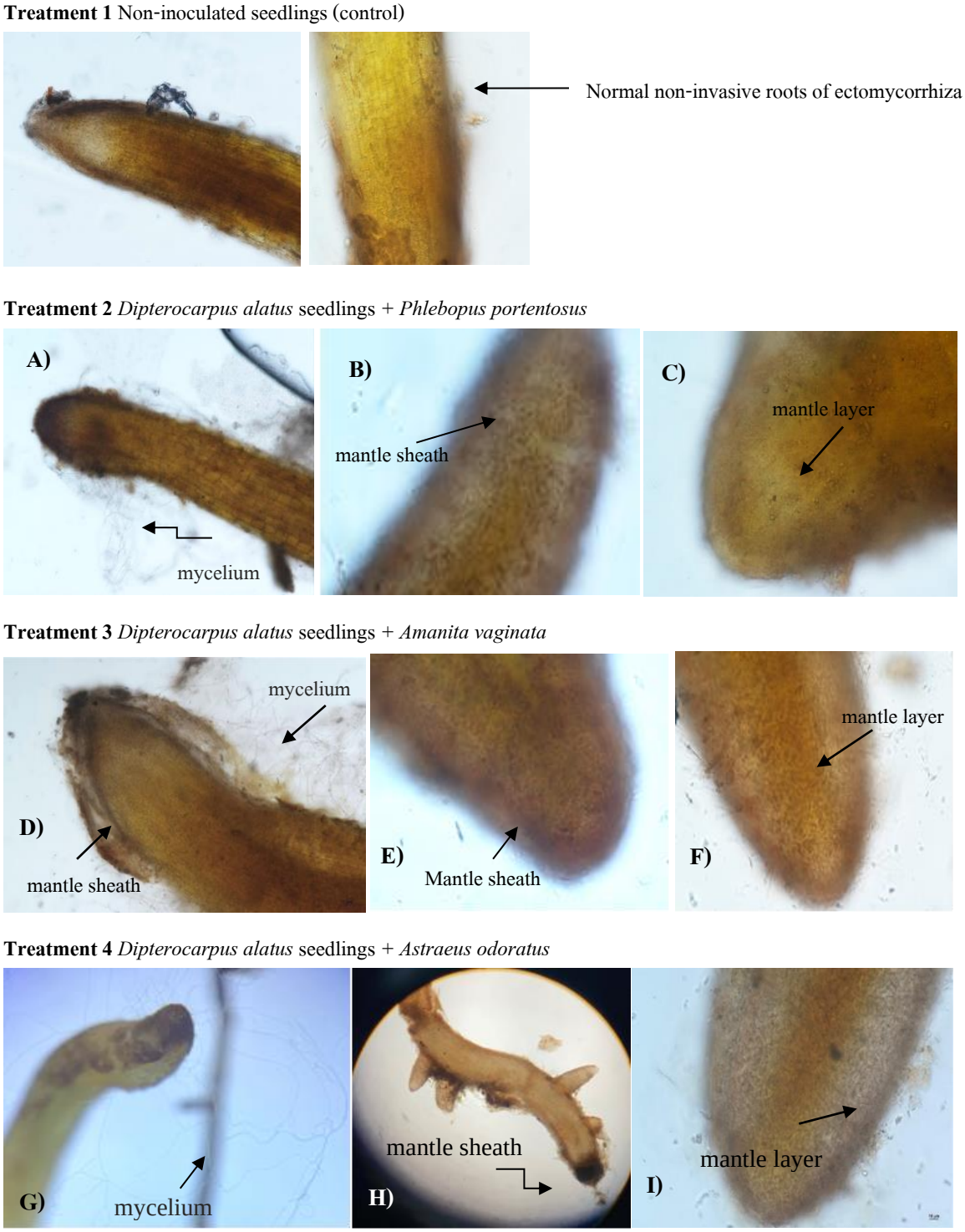

Figure 6 The root characteristics of *Dipteocarpus alatus* seedling, 6-month old, after inoculating by mycorrhiza, *Phlebopus portentosus*, *Amanita vaginata* and *Astraeus odoratus*; A), D), and G) hyphae grown outside the root surface (mycelium), B), E) and H) mycorrhizal hyphae form covered of root surface (mantle sheath), C), F), and I) specific patterns of mycorrhizal hyphae (mantle layer) covered of root surface. (Scale bars: A-C 20 µm).

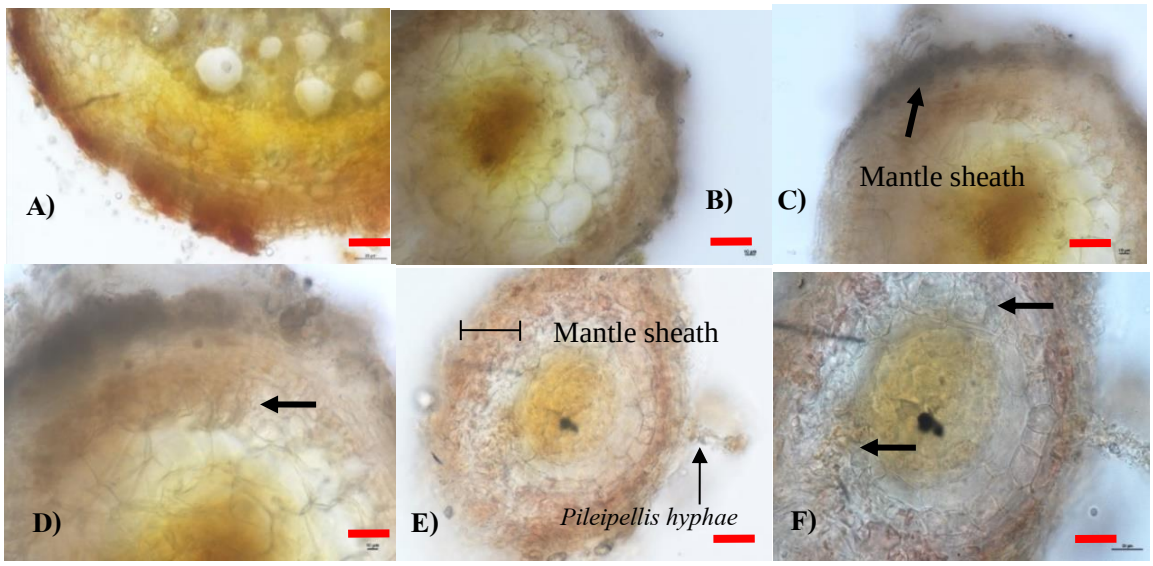

Figure 7 Characteristics of mycorrhiza mycelium from root tip cross-section of *Dipterocarpus alatus* seedling (6-month old) compared between inoculating and non-inoculated (control) mycorrhiza treatment. A) non-inoculated mycorrhiza (control), B) inoculated with *Phlebopus portentosus* and filamentous roots covered only outer root surface which had no developed into the epidermis cell, C) inoculated with *Amanita vaginata* which the mantle sheath colonized around the root surface, D) *Amanita vaginata* mycelium extended into the epidermis, E) mantle sheath mycelium around the outer root surface and appearance of the top layer of mycelium in the fungal pileus (*Pileipellis hyphae*), and F) *Astraeus odoratus* mycelium extended into the epidermis. (Scale bars: 10 µm)

เช่นเดียวกับการรายงานผลของเอคไมคอร์ไรซาจากเห็ดเผาะหนังและเห็ดตับเต่าต่อการเจริญของไม้ป่าและไม้ต่อเร็วบางชนิดในสภาพแปลงธรรมชาติของ Inyod *et al*. (2021) พบว่ากล้าไม้มีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตภายหลังการปลูกถ่ายเชื้อเห็ดเผาะหนังและตับเต่า 180 วัน มีผลต่อการเจริญด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ด โดยการศึกษาของ Liu *et al*. (2015) รายงานผลการศึกษาการปลูกถ่ายเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซากับรากของสน (*Pinus massoniana*) โดยทำการให้เชื้อเอตโตไมคอร์ไรซาเมื่ออายุต้นกล้า 1 เดือน ทำการใส่เชื้อเอคโตไมคอร์ไรซา 3 ครั้ง มีระยะเวลาในการใส่เชื้อห่างกันในแต่ละครั้งที่ 20 วัน เมื่ออายุต้นกล้า 90 วันทำการย้ายปลูก ต้นกล้าสนที่มีการใส่เชื้อมีอัตราการรอดตายสูงกว่าต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อ ด้านการเจริญเติบโตของชีวมวลส่วนบนของต้นกล้าที่มีการใส่เชื้อเอคโตไมคอร์ไรซามีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อ และเมื่ออายุต้นกล้า 1 ปี มีอัตราการเจริญของชีวมวลเหนือดินสูงขึ้นถึง 7 เท่า เมื่อเทียบกับต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อ เนื่องจากรากพืชและราต้องการเวลาในการสร้างความสัมพันธ์จึงมีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของพืชอาศัยอย่างน้อยเป็นเวลา 6 เดือน ขึ้นอยู่กับปัจจัยของดินและการเติมธาตุอาหารในดินที่ใช้เพาะปลูก สำหรับด้านการเข้าอาศัยในระบบรากจากการ

ตรวจลักษณะการเข้าอาศัยภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของต้นกล้ายางนาในเดือนที่ 6 พบว่าในทุก Treatment ที่มีการใส่เชื้อเห็ดป่ามีการเจริญของเส้นใยปกคลุมบริเวณผิวรากในทุก Treatment โดยเส้นใยมีการเจริญเข้าสู่ชั้น Epidermis มีเพียง Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดระโงกที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และ Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะหนังที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยลักษณะเส้นใยที่แผ่เข้าภายในรากเป็นการเจริญในระยะแรก ซึ่งผลการตรวจสอบการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาในห้องปฏิบัติการพบว่าการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาจะเกิดบริเวณปลายราก หรือรากที่เกิดใหม่ที่มีผนังบางอ่อนนุ่ม (Harley and Smith, 1983) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tawaraya *et al*. (2007) พบว่าการปลูกถ่ายเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาลงในกล้าไม้ที่อายุน้อยมีร้อยละการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาถึงร้อยละ 96 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ติดเชื้อเพียงร้อยละ 6 และการทดลองครั้งนี้เป็นการทดสอบในถุงเพาะกล้าที่จำกัดปริมาณดิน ส่งผลให้ธาตุอาหารในดินมีปริมาณจำกัดควรนำต้นกล้าทำการปลูกลงดิน หรือควรมีการเพิ่มธาตุอาหารในถุงเพาะกล้า (Treseder, 2013) โดยมีการศึกษาพบว่าอายุต้นกล้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดเอคโตไมคอร์ไรซา โดยการทดสอบการเจริญของเชื้อเห็ดตับเต่ากับอายุพืชอาศัยของ Inyod *et al*. (2021) ที่ทำการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าลงในกล้าต้นหว้า (*Syzygium cumini* L.) ทำการปลูกต้นกล้าที่ใส่เชื้อลงดินในเรือนทดลองปลูกพืชเมื่ออายุกล้าหลังการใส่เชื้อคือ 1, 3, 5, 7 และ 9 เดือน ผลที่ได้คือต้นหว้าที่มีการใส่เชื้อเห็ดตับเต่าและมีการย้ายปลูกที่อายุ 7 เดือน มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใส่เชื้อกับต้นกล้าและทำการย้ายปลูกในช่วงอายุอื่น ๆ

จากผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าเห็ดป่าช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นยางนา โดยต้นยางนาเป็นไม้ที่จัดอยู่ในกลุ่มไม้โตช้า หลังจากทำการปลูกต้นยางนาจะสามารถใช้ประโยชน์จากเนื้อไม้ได้ช่วงอายุไม้ปีที่ 5 ในการนำมาใช้ด้านพลังงาน ด้านการใช้ประโยชน์เนื้อไม้เชิงอุตสาหกรรมและในครัวเรือน ต้นยางนามีอายุรอบตัดฟันที่เหมาะสมในปีที่ 15 ถึงปีที่ 30 จึงมีช่วงเวลาในการรอคอยให้ถึงรอบตัดฟันที่นาน (Royal Forest Department, 2018) ในการเพาะเชื้อเห็ดป่ากับกล้ายางนาจึงเป็นการช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโต (Cairney, 2011; Aggangan *et al*., 2013) ช่วยเพิ่มอัตราการรอดตายให้ต้นกล้า นอกจากผลทางตรงในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาศัย ยังมีผลทางอ้อมคือเมื่อมีการสะสมเส้นใยของเชื้อเห็ดในระบบรากมากพอและมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการสร้างดอกเห็ดได้จะเป็นแรงจูงใจที่ทำให้มีการหันมาอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าไม้วงศ์ยางหรือใช้ไม้ยางนาปลูกป่าทดแทนมากขึ้น (Royal Forest Department and Kasetsart University, 2017; Royal Forest Department, 2018) และผลผลิตที่ได้จากเห็ดยังสามารถนำมาบริโภคหรือจำหน่ายเป็นประโยชน์ตลอดช่วงระยะเวลารอคอยให้ไม้ยางนาเจริญเติบโตจนถึงระยะเวลารอบตัดฟัน ด้านมูลค่าของกล้าไม้ยางนา พบว่าราคาต้นกล้าที่มีการใส่เชื้อเห็ดมีราคาสูงกว่าต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดป่าถึง 1.5 เท่า โดยราคาขายต้นกล้าที่มีเชื้อเห็ดเฉลี่ยที่ 66.7 บาท และต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดมีราคาเฉลี่ยที่ 27.5 บาท ซึ่งการให้ข้อมูลจากผู้

จำหน่ายกล้าไม้ป่าในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และลำปาง พบว่าไม่สามารถยืนยันได้ว่ากล้าไม้ที่มีการใส่เชื้อเห็ดป่าที่จำหน่ายนั้นมีการเข้าอาศัยของเชื้อเห็ดป่าในระบบรากจริง ซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้ใส่เชื้อเห็ดป่าตามชนิดที่มีความนิยมบริโภค โดยเลือกทำการใส่เชื้อกับต้นกล้าตามวิธีที่มีความนิยมซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย และสะดวกในการปลูกเชื้อเห็ดป่า เพื่อเป็นการทวนสอบวิธีการและเป็นแนวทางในการนำไปใช้ปลูกเชื้อเห็ดป่ากับกล้าไม้ โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้ต้นกล้ายางนาอายุ 6 เดือน ในการทดลองทำการใส่เชื้อ 2 ครั้ง และทำการอนุบาลกล้าเป็นเวลา 6 เดือน ผลการตรวจการเข้าอาศัยของราในระบบรากต้นกล้ายางนา พบว่าการเข้าอาศัยของราในรากชั้น Epidermis มีเพียงร้อยละ 10 ในเห็ดระโงก และร้อยละ 30 ในเห็ดเผาะหนัง เนื่องจากเชื้อราของเห็ดและรากของพืชอาศัยต้องการเวลาในการสร้างความสัมพันธ์ จึงควรเลือกใช้ต้นกล้าอายุ 1-2 เดือนในการเริ่มการใส่เชื้อเห็ดป่า และควรทำการอนุบาลกล้าจนครบ 1 ปี จึงเหมาะสมต่อการนำต้นกล้าจำหน่าย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกล้าไม้ป่าวงศ์ยางได้ สำหรับเห็ดตับเต่าไม่มีการตรวจพบการเข้าอาศัยในรากชั้น Epidermis ในห้องปฏิบัติการโดยตรวจพบเส้นใยปกคลุมเพียงผิวรากด้านนอกของต้นกล้ายางนา ซึ่งเป็นไปตามการรายงานของ Kumla *et al.* (2020) ที่รายงานถึงการสร้าง Fruiting bodies ได้โดยไม่ต้องมีพืชอาศัย และสามารถผลิตเห็ดตับเต่าโดยใช้วิธีเพาะด้วยวัสดุเพาะในถุงชำ จากการทดลองนี้เส้นใยเห็ดตับเต่าสามารถปกคลุมวัสดุเพาะอย่างสมบูรณ์หลังจากการใส่เชื้อเห็ดตับเต่าใน 90-95 วัน ภายใต้สภาพโรงเรือนเพาะเห็ด หรือสามารถทำการเพาะใต้ร่มเงาของต้นไม้ชนิดต่าง ๆ ได้ ดังนั้นสำหรับเห็ดตับเต่าจึงเหมาะสมในการนำมาเพาะในแปลงปลูกกล้าไม้ยางนา หรือในป่าชุมชน เพื่อให้เกิดดอกเห็ดเป็นอาหารหรือรายได้ช่วงที่ต้นยางนาเติบโต

สรุป

ผลการทดลองใส่เชื้อเห็ดป่าที่เป็นเห็ดเศรษฐกิจ โดยใช้ดอกเห็ดเป็นแม่เชื้อกับต้นกล้ายางนา ผลที่ได้สนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ เห็ดตับเต่า เห็ดเผาะหนัง และเห็ดระโงก ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของกล้าไม้ยางนาที่ไม่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกับทางสถิติกับต้นกล้าที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ดป่าโดยผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากต้นกล้าที่ใส่เชื้อเห็ดระโงกมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด รองลงมาคือ Treatment ที่ใส่เชื้อเห็ดตับเต่า เห็ดเผาะหนัง ด้านความสูงเห็ดตับเต่าให้ค่าเฉลี่ยความสูงต้นสูงที่สุด รองลงมาคือ Treatment ใส่เชื้อเห็ดเผาะหนังและเห็ดระโงก ด้านความยาวรากต้นกล้ายางนาที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะมีผลความยาวรากสูงที่สุด เห็ดตับเต่าและเห็ดระโงกมีผลความยาวรากเท่ากัน โดยต้นกล้ายางนาที่มีการใส่เชื้อเห็ดมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่ากล้ายางนาที่ไม่มีการใส่เชื้อเห็ด โดยมีผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่มีนัยสำคัญหลังการใส่เชื้อเห็ดป่าในเดือนที่ 6 ต้นกล้าที่ใส่เชื้อเห็ด และจากการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อดูการเข้าอาศัยในระบบรากผ่านกล้องจุลทรรศน์พบเส้นใยเห็ดทั้ง 3 ชนิดเกาะบริเวณผิวรากโดยมีการเข้าอาศัยบริเวณปลายราก

ใหม่ของต้นยางนาทุก Treatment ที่มีการใส่เชื้อแต่มีการเข้าอาศัยในชั้น Epidermis ยังไม่ดีพอ ดังนั้นการใส่เชื้อเห็ดป่าเศรษฐกิจสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้ายางนาได้ ช่วยเพิ่มมูลค่ากล้ายางนาจากมูลค่าพื้นฐานในท้องตลาดได้ โดยระยะเวลาในการอนุบาลกล้าไม้ยางนาที่มีการใส่เชื้อเห็ดป่าที่เหมาะสมคือ 1 ปี เพื่อให้ราและรากกล้าไม้มีระยะเวลาในการสร้างปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยป้องกันและรักษาป่าที่ ลพ. 2 (บ้านโฮ่ง) ในความอนุเคราะห์กล้าไม้ และทุนสนับสนุนการศึกษา โครงการขยายผลทุนปริญญาตรี เพื่อพัฒนาเกษตรกรรุ่นใหม่ ร่วมกับมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากสำนักพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

Aggangan, N. S., P. Mitzi, B. Jeremoas & G. Joan. 2013. Growth of *Shorea contorta* Vid. Inoculated with Eucalypt Ectomycorrhizal Fungi in the Nursery and in a Logged-Over Dipterocarp Forest in Surigao, Philippines. **American Journal of Plant Sciences** 4: 896-904.

Cairney, J. W. G. 2011. Ectomycorrhizal fungi: the symbiotic route to the root for phosphorus in forest soils. **Plant Soil** 344: 51–71.

Charoenmahavit, B. 2018. Don Pu Ta: Northeast Cultural Forest Related to the Local and the Forest. **Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)** 11(2): 2203-2016. (in Thai).

Ji, K.P, Y. Cao, C.X. Zhang, M.X. He, J. Liu, W.B. Wang & Y. Wang. 2011. Cultivation of *Phlebopus portentosus* in southern China. **Mycological Progress** 10: 293–300.

Harley, J. L. & S. E Smith. 1983. **Mycorrhizal symbiosis**. Advances in Bioscience and Biotechnology. Cambridge University.

Inyod, T., T, Lattirasuvan, K, Chawananorasest, T, Toemarrom, C, Konee, S, Yatsom, S, Bualoi & P, Eamprasong. 2021. The study of the Suitable Aging of *Syzygium cumini* (L.) Skeels for Promoting Growth of *Phlebopus portentosus* (Berk. and Broome) Boedijn under Greenhouse Conditions. **Naresuan Agriculture Journal** 18(1): 1-13. (in Thai)

Inyod, T., T. Lattirasuvan, T. Termarom, C. Konee, S. Chaimongkhon & W. Fongthiwong. 2021. Effects of Ectomycorrhiza from *Astraeus odoratus* and *Phlebopus portentosus* on some Species of Forest Trees and Fast-Growing Trees in Natural Conditions. **King Mongkut's Agricultural Journal** 39(3): 215 -223. (in Thai)

Inyod, T., T. Lattirasuvan, T. Termarom, C. Konee, S. Yatsom, P. Eamprasong, N. Srihanant & A. Gabjun. 2022. Examination of Host Plants and Quantity of Ectomycorrhiza (*Astraeus odoratus*) Suitable for Promoting Ectomycorrhiza Rooting of Dipterocarpaceae Seedlings under Greenhouse Conditions. **King Mongkut's Agricultural Journal** 40(1): 28 – 37. (in Thai)

Kumla, J., A. Erik, N. Suwannarach & S. Lumyong. 2016. The ectomycorrhizal status of a tropical black bolete, *Phlebopus portentosus*, assessed using mycorrhizal synthesis and isotopic analysis. **Mycorrhiza** 26: 333–343.

Kumla, J., N. Suwannarach & S. Lumyong. 2020. A New Report on Edible Tropical Bolete, *Phlebopus spongiosus* in Thailand. **Mycobiology** 48(4): 263-275.

Liu, Y., X. F. Wang & Y. Z. Zhinan. 2015. **China CN 105861315 B**. Jinpu Garden Co., Ltd.

Moyersoen, B. 2006. Pakaraimaea Dipterocarpaceae is ectomycorrhizal in dicating an ancient Gondwanaland origin for the ectomycorrhizal habit in Dipterocarpaceae. **The New Phytologist**, 172, 753–762.

Mungklarat, J., C. Kanchanaburangura & P. Petrmak. 2001. **Species trial of 8 dipterocarpaceae at Thong Pha Phum Forest tree seed station in Kanchanaburi province**. Office of Forestry Academics, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Nuangmek, W. & M. Titayavan. 2020. Cereal grain for spawn production of Astraeus sp. and the effects of host plants. **Khon Kaen Agriculture Journal** 48(1): 1173-1180. (in Thai)

Office of the Secretary of the National Strategy Committee and the Office of the National Economic and Social Development Board. 2018. **National Strategy 2018-2037 (short version)**. Office of the National Economic and Social Development Council, Bangkok. (in Thai)

Royal Forest Department and Kasetsart University. 2017. **Economically valuable wood "Knowledge for promoting the cultivation of economically valuable trees", Reforestation Promotion Office,** Royal Forest Department. (in Thai)

Royal Forest Department. 2018. **Sustainable Economic Forest Plantation Management Manual, forest economics bureau,** Royal Forest Department. (in Thai)

Sangthian, T. & U. Sangwanit. 1994. Growth of *Dipterocapus alatus* Roxb. Seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. **Thai Journal of Forestry** 13: 22-28. (in Thai)

Sim, M. Y. & A. H. Eom. 2006. Effects of Ectomycorrhizal Fungi on Growth of

Seedlings of *Pinus densiflora*. **Mycobiology** 34(4): 191-195.

Suksawang, S. 2014. Long-term ecological studies in the national park: The permanent plot in tropical forests. pp 146-106. ***In*** **Proceedings of the Thailand Forest Ecological Research Network (T-FERN): Ecological Knowledge for Adaptation on Climate Change**. January 23-24, 2014. Faculty of Forestry, Kasetsart University. (in Thai)

Tarah, S. S. 2017. **Soil acidity impacts beneficial soil microorganism**. Washington State University.

Tawaraya, K., M. Turjaman & H. A. Ekamawanti. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization on nitrogen and phosphorus uptake and growth of *Aloe vera* l. **HortScience** 42(7): 1737-1739.

Thongklang, N., D. H. Kevin, B. Bussaban & S. Lumyong. 2010. Culture condition, inoculum production and host response of a wild mushroom, *Phlebopus portentosus* strain CMUHH121-005**. Maejo International Journal of Science and Technology** 5(3): 413-425.

Thongjiem, N., I. Panthasu, P. Kalthiyanant, P. Yingkum & N. Kumtago. 2018. Production of edible ectomycorrhizal seedling in fast growing species. **Research and development to sustainable forest management and utilization**. Royal Forest Department. Bangkok. (in Thai).

Treseder, K. K. 2013. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content**. Plant and Soil** 371(1): 1-13.

Unphim, U., S. Sophapol, R. Chaiherunkit & C. Pookhit. 2017. Knowledge Management of Local Mushrooms Wisdom in Ubon Ratchathani Province. **Humanity and Social Science Journal, Ubon Ratchathani University** 8(2): 156-176 (in Thai).

Zhang, C., H. Mingxia, L. Jing, X. Xinjing, C. Yang, F. Gao, F. Yiwei, W. Wenbing & W. Yun. 2017. Brief Introduction to a Unique Edible Bolete—Phlebopus portentosus in Southern China. **Journal of Agricultural Science and Technology** B7: 386-394.