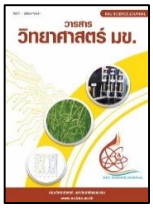
KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



การศึกษาผลของเชื้อเห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.)

Study on the Effect of Bolete (*Phlebopus portentosus)* on the Growth Promotion of Burmese rosewood (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.) Seedlings

อัญชิสา วสุสุนทร[1] แหลมไทย อาษานอก[2] กมลพร ปานง่อม[3] และ วรรณา มังกิตะ[1*]

Unchisa Vasusuntron[1], Lamthai Asanog[2], Kamonporn Panngom[3] and Wanna Mangkita[1*]

[1]สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[2]สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[3]กลุ่มวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[1]Master of Science Program in Forest Management, The Established Project of College of Forestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand

[2]Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand

[3]Basic Science, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของเชื้อเห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.) โดยใช้ปริมาตรหัวเชื้อเห็ดตับเต่าแตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) 7 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อ) ชุดทดลองที่ปลูกเชื้อเห็ดที่ปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตร (มวลชีวภาพของเส้นใยเห็ด 0.3 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) จำนวน 1 และ 2 ครั้ง โดยปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าห่างกัน 15 วัน ทดสอบกับกล้าอายุ 4 เดือน บันทึกผลการเติบโตทุก 30 วัน จนอายุครบ 180 วัน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสถิติ พบว่าการปลูกเชื้อปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ให้ผลดีที่สุด โดยเมื่อวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ มีค่าเฉลี่ย 2.41 ± 0.31 1.20 ± 0.86 และ 3.61 ± 0.55 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 167.78 และ 67.91 ซึ่งแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อวัดความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ทรงพุ่ม และมวลชีวภาพรวม มีค่าเฉลี่ย 54.59 ± 8.83 เซนติเมตร 8.05 ± 1.02 มิลลิเมตร 36.35 ± 2.14 เซนติเมตร และ 16.03 ± 2.42 กรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมเพิ่มขึ้นร้อยละ 41.02 42.98 14.34 และ 46.79 ตามลำดับ และแตกต่างกับชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะเส้นใยเห็ดที่อยู่กับรากฝอยของกล้าประดู่ป่าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ขนาด 100 ไมโครเมตร พบว่ารากฝอยกล้าที่ปลูกเชื้อมีเส้นใยเห็ดตับเต่าเกาะผิวรากโดยรอบ ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางส่งเสริมการปลูกเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา (เห็ดตับเต่า) ในกล้าไม้เศรษฐกิจ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต

*Corresponding Author, E-mail: mangkita378@gmail.com

Received: date: 25 September 2023 | Revised date: 17 January 2024 | Accepted date: 18 January2024

ABSTRACT

The Study on the effects of bolete (*Phlebopus portentosus*)on the growth promotion of Burmese rosewood (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.) by using different volume of *P. portentosus* inoculum. A Completely Randomized Design (CRD) consisting of seven treatments were done. The treatments were: control (no inoculation), inoculation with 10, 20 and 30 mL (0.3 mg/ml biomass) of *P. portentosus* inoculum, inoculated once or twice, with a 15-day interval between inoculations. Four-month-old *P. macrocarpus* seedlings were used. Growth parameters were recorded every 30 days for 180 days after inoculation. Data were analyzed using a statistical program. The result showed that inoculation twice with a volume of 20 ml *P. portentosus* gave the best results. It was found that the average quantities of chlorophyll A, chlorophyll B and total chlorophyll content measured by spectrophotometer were 2.41 ± 0.31, 1.20 ± 0.86 and 3.61 ± 0.55 mg/g, respectively. The quantities of chlorophyll A and total chlorophyll compared with control were increased by 167.78 and 67.91 percent, respectively. The results were significantly different from the control at the statistical level ($p \leq 0.05$). The average stem height, diameter at root collar, canopy width, and total biomass were 54.59 ± 8.83 cm, 8.05 ± 1.02 mm, 36.35 ± 2.14 cm and 16.03 ± 2.42 g, respectively. The average stem height, diameter at root collar, canopy width, and total biomass compared with control were increased by 41.02, 42.98, 14.34 and 46.79 percent, respectively. The results were significantly different from the control at the statistical level ($p \leq 0.05$). The *P. portentosus* hyphae attached to *P. macrocarpus* seedlings roots were examined by Scanning Electron Microscope (SEM) at 100 µm. The result showed that the roots of the inoculated seedlings had hyphae attached to the surrounding root surface. The study results could be used as a guideline for promoting re-forestation by using mycorrhizal mushroom (*P. Portentosus*) along with economic trees to increasing plant growth.

คำสำคัญ: ประดู่ป่า กล้าไม้ ไมคอร์ไรซา เอคโตไมคอร์ไรซา เห็ดตับเต่า

Keywords: *Pterocarpus macrocarpus* Kurz., Seedlings, Mycorrhiza, Ectomycorrhiza, *Phlebopus portentosus*

บทนำ

ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.) เป็นไม้ผลัดใบ ในวงศ์ Fabaceae ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด สามารถเติบโตในที่แจ้งและแดดจัด ต้องการน้ำและความชื้นปานกลางในการเติบโต สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ เป็นไม้มงคลที่ให้ความหมายถึงความแข็งแกร่ง สามัคคี ไม้ประดู่มีความแข็ง (hardness) มากกว่าไม้สัก 2 เท่า มีความทนทานตามธรรมชาติ (การทดลองฝังดิน) เฉลี่ย 14 ปี เนื้อไม้ประดู่ป่าสามารถใช้สร้างบ้าน ทำเฟอร์นิเจอร์ ทำเครื่องดนตรีไทย และเปลือกถูกนำมาใช้ในการย้อมสีผ้า ประดู่ป่าถูกจัดเป็นไม้มีค่า ไม้เศรษฐกิจ ในพระราชบัญญัติหลักประกันธุรกิจใช้ในการค้ำประกัน รวมถึงอยู่ในรายชื่อไม้คาร์บอนเครดิตสร้างรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต แต่เป็นไม้มีรอบตัดฟันยาว 10 ปี การเจริญเติบโตช้า (สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้, 2556; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2565) ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจการใช้เทคโนโลยีเห็ดป่าไมคอร์ไรซา ซึ่งเป็นวิธีการช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับพืชได้ โดยเห็ดป่าเศรษฐกิจมีหลากหลายชนิด เช่น เห็ดเผาะ (*Astraeus hygrometricus*) เห็ดระโงก (*Amanita javanica*) เห็ดตะไคล (*Russula virescens*) รวมถึง เห็ดตับเต่า (*Phlebopus portentosus*) (ดีพร้อม, 2542; อนงค์และคณะ, 2551; สุจิตราและคณะ, 2562) ซึ่งเป็นเห็ดราที่มีคุณสมบัติของการเป็นเห็ดราเอคโตไมคอร์ไรซาที่อยู่แบบพึ่งพาอาศัย (Symbiosis) ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยการย่อยธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม)

ผ่านกระบวนการเมแทบอไลท์ (Metabolite) (Allen, 1991; Conjeaud *et al*., 1996) ที่จำเป็นให้พืชสามารถนำไปใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง มีธาตุอาหารที่จำเป็นโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์เอซึ่งมีอยู่ 3 ใน 4 ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของพืช (Panawala, 2017) รวมถึงเพิ่มพื้นที่ให้กับรากพืช ทำให้พืชสามารถทนต่อความแห้งแล้ง เพิ่มการกักเก็บน้ำ การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างของดิน เพิ่มอัตราการรอดตายจากโรคพืช (โรคเน่าคอดิน) และเห็ดตับเต่าสามารถควบคุมศัตรูพืช ใช้ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม โดยการเข้าทำลายไข่ การฟักตัว และตัวอ่อนในระยะที่สองของไส้เดือนฝอยปมราก ช่วยเพิ่มการรอดตายของกล้าที่ลงปลูกในพื้นที่ (ทนุวงศ์ และอุทัยวรรณ, 2537; กิตติมาและคณะ, 2548; อธิษฐาน และอมรศรี, 2564) เห็ดตับเต่ามีเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ กินเป็นยาบำรุงร่างกาย บำรุงกำลัง สามารถแปรรูปเห็ดตับเต่าเพื่อเพิ่มมูลค่า สร้างรายได้ และช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจพอเพียงในชุมชน (อนงค์ และอัจฉรา, 2530; รวีวรรณ, 2556; วชิรญาและคณะ, 2565) การศึกษาเห็ดตับเต่าร่วมกับกล้าฝรั่งพบว่าที่ 180 วัน กล้าฝรั่งมีความสูง จำนวนใบแตกใหม่ มวลชีวภาพทั้งเหนือพื้นดิน ใต้พื้นดินสูงกว่าชุดควบคุม รวมถึงมีแนวโน้มในการสร้างรากแก้ว และรากแขนงเพิ่มขึ้น ขณะที่ชุดควบคุมค่าต่างๆ นั้นคงที่ตลอดการทดลอง (ปานทิพย์ และประภาพร, 2555) ศึกษากล้าไม้อายุ 1 เดือน ที่ปลูกหัวเชื้อแบบแขวนลอยสปอร์บริเวณรากยางนาและชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกหัวเชื้อวัดการเจริญเติบโตกล้าไม้ระยะเวลา 6 เดือน โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ารากที่ปลูกเชื้อมีสีน้ำตาลดำ และมีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก มวลชีวภาพดีกว่าไม่ปลูกหัวเชื้อ (ธนิตาและคณะ, 2558) การศึกษาเห็ดตับเต่ากับกิ่งตอนชมพู่พบว่ามีผลต่อการแตกกิ่ง และการเพิ่มมวลชีวภาพของกิ่งตอนชมพู่ อีกทั้งปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเชื้อเห็ดตับเต่ามีแนวโนมในการเพิ่มจำนวนของรากกิ่งตอนชมพู่ (ประภาพรและคณะ, 2555) การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในรากต้นหว้าที่อายุ 1 3 5 7 และ 9 เดือน เป็นเวลา 1 เดือน พบว่ามีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโตทางความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก จำนวนใบ ความยาวราก มวลชีวภาพเหนือดิน และมวลชีวภาพใต้ดิน โดยเฉพาะกล้าหว้าเริ่มต้นที่อายุ 7 เดือน มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด และกล้าหว้าเริ่มต้นที่อายุ 3 เดือน มีอัตราการเกิดรากมากที่สุด (ธนภักษ์และคณะ, 2564) ศึกษาเชื้อเห็ดป่าเศษฐกิจชนิดเอคโตไมคอร์ไรซ่าสามชนิดร่วมกับกล้ายางนาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่ากล้าที่ปลูกร่วมกับเห็ดระโงกมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ระดับคอรากมากที่สุด รองลงมาคือกล้าที่ปลูกร่วมกับเห็ดตับเต่า เห็ดเผาะ และไม่ได้ปลูกร่วมกับเชื้อเห็ดตามลำดับ ส่วนกล้ายางนาที่ปลูกร่วมกับเชื้อเห็ดตับเต่ามีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงมากที่สุด รองลงมาคือกล้าที่ปลูกร่วมกับ เห็ดเผาะ เห็ดระโงก และกล้ายางนาที่ไม่ได้ปลูกร่วมกับเห็ดตามลำดับ (มนต์นรินทร์และคณะ, 2565) ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างเห็ดตับเต่าที่สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญของพืช งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณเชื้อเห็ดตับเต่าที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่า เพื่อเป็นข้อมูลส่งเสริม สร้างแรงจูงใจในการปลูกไม้ประดู่ป่า และไม้ป่าเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ ร่วมกับเห็ดตับเต่าหรือเห็ดราเอคโตไมคอร์ไรซาชนิดอื่นๆ ต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมหัวเชื้อเห็ดตับเต่าในอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง

หัวเชื้อเห็ดตับเต่าที่ใช้ในการทดลอง เตรียมโดยการแยกเชื้อจากดอกเห็ดในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปพีดีเอ (Potato dextrose agar: PDA) เป็นเวลา 30 วัน แล้วแยกเชื้อที่บริสุทธิ์ลงเลี้ยงบนอาหารพีดีเออีก 30 วัน จึงนำไปขยายเชื้อเพิ่มปริมาณในอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง ใช้เวลาอีก 30 วัน โดยการเพาะเลี้ยงใช้ตู้บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อหัวเชื้อในอาหารเมล็ดข้าวฟ่างเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว เตรียมหัวเชื้อโดยการขยี้กับน้ำสะอาดปราศจากคลอรีนในอัตราส่วนหัวเชื้อ 100 กรัม ต่อน้ำ 1,000 มิลลิลิตร (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ องค์การมหาชน, 2564) การทดลองใช้หัวเชื้อที่เตรียมในครั้งเดียวกันทั้งหมด

การเตรียมต้นกล้าประดู่ป่า

เพาะเมล็ดประดู่ป่า ในถุงเพาะขนาดเล็ก 2 x 6 นิ้ว โดยวัสดุเพาะกล้าไม้ ประกอบด้วยดินดำ ขุยมะพร้าว และปุ๋ยอินทรีย์ ในอัตราส่วน 2:1:1 เมื่อกล้าประดู่ป่า อายุ 3 เดือน ย้ายลงถุงเพาะขนาด 3 x 8 นิ้ว อนุบาลกล้าไม้เป็นเวลา 1 เดือน (รวมอายุกล้า 4 เดือน) คัดกล้าประดู่ป่า ที่มีขนาดเท่าๆ กัน ความสูงประมาณ 20 เซนติเมตร เพื่อนำมาทดลอง (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ องค์การมหาชน, 2564)

การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าในต้นกล้าประดู่ป่า

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยมี 7 ชุดการทดลอง ใช้กล้าประดู่ป่า 6 ต้นต่อชุดการทดลอง ทำ 3 ซ้ำ โดยมี ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า เปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ปลูกเชื้อปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตร (มวลชีวภาพของเส้นใยเห็ด 0.3 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปลูกเชื้อจำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง (การปลูกเชื้อครั้งที่สองเว้นระยะเวลา 15 วัน จากครั้งแรก) ทำการปลูกเชื้อโดยการรดน้ำดินในถุงเพาะพอชื้น บีบดินในถุงเพาะกล้าให้แตกเป็นร่องเล็กน้อย เพื่อให้เชื้อเห็ดลงไปบริเวณโซนรากได้ดีขึ้น หลังปลูกเชื้อเห็ดอนุบาลกล้าไม้ในที่ร่ม ไม่รดน้ำในช่วง 1 - 3 วันแรก เพื่อให้เส้นใยเห็ดได้ตั้งตัวและเจริญเกาะติดที่ระบบรากของกล้าไม้ หลังจากนั้นรดน้ำพอชื้น น้ำไม่ไหลล้นจนชะเส้นใยเห็ดออกจากถุง (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ องค์การมหาชน, 2564) เมื่อครบ 1 สัปดาห์ นำกล้าไม้มาวางบริเวณที่มีแสงแดดรำไร ให้น้ำ 40 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาเดียวกันทุกเช้าในแต่ละหน่วยการทดลอง หลังปลูกเชื้อเป็นระยะเวลา 30 วัน ตรวจวัดการเจริญเติบโตจนกระทั่งกล้าไม้มีอายุครบ 180 วัน โดยวัดความสูงด้วยไม้บรรทัด จากคอรากถึงปลายยอด 1 ครั้ง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากด้วยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และวัดทรงพุ่มด้วยไม้บรรทัด 2 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย (ทนุวงศ์ และอุทัยวรรณ, 2537; Elliott *et al*., 2000)

การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำโดยสุ่มตัวอย่างกล้าประดู่ป่าในแต่ละชุดการทดลอง แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างใบกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าครบ 180 วัน เพื่อดูปริมาณคลอโรฟิลล์ในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้ที่เจาะกระดาษเอาใบแก่นำใบมาสับแล้วสุ่มชั่งน้ำหนักสดปริมาณ 10 มิลลิกรัม เพื่อใส่ในหลอดทดลองขนาด 2.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายไดเมทิลซัล-ฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide: DMSO) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร แล้วบ่มที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการวัดโดยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific; รุ่น Genesys 10S UV-Vis) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร และ 645 นาโนเมตร สำหรับการวัดคลอโรฟิลล์ โดยใช้คิวเวทท์แก้ว (ณัฐธิดา และบุบผา, 2564; Arnon, 1949; Siebeneichler *et al*., 2019) แล้วนำไปคำนวณหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามสูตรดังนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = [12.7\ (A663) - 2.69\ (A645) \times V\ ]/(1000 \times wt)$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = [22.9\ (A645) - 4.68\ (A663) \times V\ ]/(1000 \times wt)$$

$$\text{คลอโรฟิลล์รวม} = [20.2\ (A645) + 8.02\ (A663) \times V\ ]/(1000 \times wt)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสาร V คือ ปริมาตรสารละลาย DMSO และ wt คือ น้ำหนักใบที่ใช้สกัด

การวัดปริมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน และใต้ดิน

วัดปริมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน และใต้ดิน โดยนำกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าครบ 180 วัน มาล้างดินออก แยกระหว่างส่วนเหนือดิน และส่วนรากใต้ดิน ชั่งน้ำหนักสดหน่วยเป็นกรัม จดบันทึกก่อนห่อด้วยกระดาษ นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งหน่วยเป็นกรัม

การตรวจสอบการเกาะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

ทำโดยการเก็บตัวอย่างจากกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าครบ 180 วัน และตัดรากให้มีขนาดประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร นำไปล้างด้วยสารละลาย 1X (v/v) Phosphate buffered saline (PBS) จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นทำการหยุด

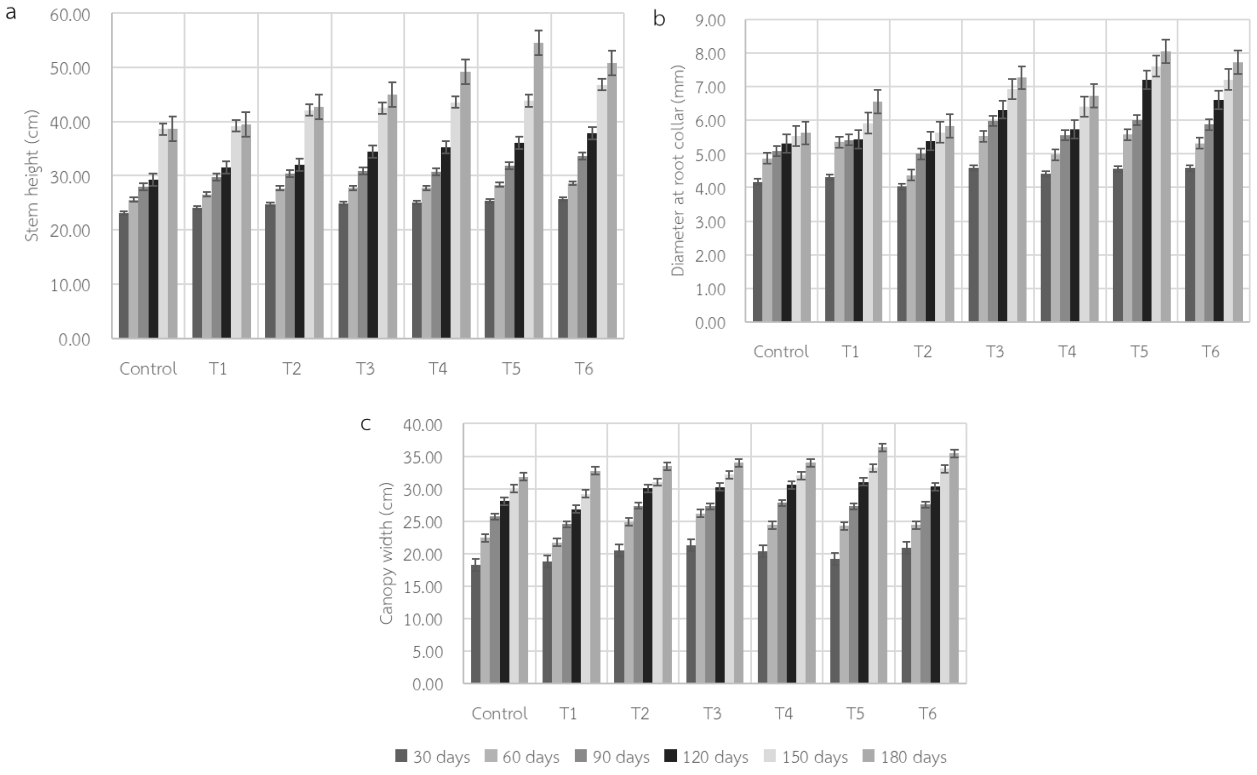
ปฏิกิริยาครั้งที่ 1 (Primary fixation) ด้วยน้ำยา Karnovsky's fixative (2% Paraformaldehyde + 2% glutaraldehyde) ล้างด้วยสารละลาย 1X (v/v) PBS จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างรากไปหยุดปฏิกิริยาครั้งที่ 2 (Secondary fixation) โดยใช้สารละลาย 1% Osmium tetroxide ที่เตรียมในสารละลาย เก็บในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาล้างด้วยสารละลาย 1X (v/v) PBS จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นทำการดึงน้ำออก (dehydration) ด้วยแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 30 50 70 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ อย่างละ 1 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที และดึงน้ำออกด้วยแอลกอฮอล์ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที ทำตัวอย่างให้แห้ง (drying) โดยการแช่ในสารละลาย Hexamethyldisilazane (HMDS) เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างรากวางบนเทปคาร์บอน (Carbon tape) นำไปดูดความชื้นออกและทำการเคลือบ (coating) ตัวอย่างด้วยทองคำ โดยใช้เครื่อง Safematic รุ่น CCU-010 แล้วนำไปส่องและถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Tescan Clara) โดยการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทำ SEM ทำตามวิธีการของ (Panngom *et al*., 2014)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ Statistical Package for the Social Science (SPSS)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่า แสดงข้อมูลเมื่อปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ 30 60 90 120 150 และ 180 วัน



รูปที่ 1 แนวโน้มการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่าด้านความสูง (a) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก (b) และความกว้างของทรงพุ่ม (c) โดย control คือชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า ขณะที่ T1 T2 และ T3 คือชุดทดลองที่มีการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง T4 T5 และ T6 คือชุดทดลองที่มีการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตรจำนวน 2 ครั้ง ตามลำดับ

กราฟแสดงแนวโน้มการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่าหลังการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าเมื่อที่ครบ 30 60 90 120 150 และ 180 วัน พบว่า การปลูกเชื้อสองครั้งในปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร มีแนวโน้มของความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก และความกว้างทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นมากในช่วง 90 120 150 และ 180 วัน เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกเชื้อและการปลูกเชื้อเพียงครั้งเดียว แสดงใน รูปที่ 1a การเจริญเติบโตของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากมีการแปรผกผันกัน เนื่องจากกล้าประดู่ป่าเกิดการยืดตัวของรากและลำต้นทำให้ความสูงเพิ่มขึ้นแต่เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากเหนือดินลดลง โดยรากมีบริเวณเซลล์ยืดตัวตามยาว (region of cell elongation) ที่จะยืดตัวเพื่อเพิ่มความยาวของรากและส่วนลำต้นเองก็มีการยืดตัว ตามการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ระหว่างการเจริญเติบโต ซึ่งมีการเจริญยืดยาวไปในทิศทางเดียวกันมากกว่าจะเจริญไปหลายทิศทางอย่างการเจริญไปในทิศทางตั้งฉากกับแกน เช่น การยืดตัวของราก ลำต้นและก้านใบ (เทียมใจ, 2542) แสดงใน รูปที่ 1b และความกว้างทรงพุ่มของกล้าประดู่ป่าหลังการปลูกเชื้อเห็ดสองครั้งในปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร มีแนวโน้มแปรผันตามการเจริญเติบโตทางความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากที่เพิ่มขึ้นเมื่อกล้าประดู่ป่าที่ 150 และ 180 วัน แสดงใน รูปที่ 1

ผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในกล้าประดู่ป่า

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของกล้าประดู่ป่าที่ปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตรของเชื้อเห็ดที่แตกต่างกัน อายุครบ 180 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ของกล้าประดู่ป่าที่ปลูกเชื้อเห็ดปริมาตร 20 จำนวน 2 ครั้ง มีค่าสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ การปลูกเชื้อเห็ดลงในกล้าประดู่ป่าปริมาตรดังกล่าวจำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ไม่ส่งผลให้กล้าไม้ผลิตคลอโรฟิลล์บีแตกต่างจากกล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดแต่อย่างใด นอกจากนั้นยังพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (คลอโรฟิลล์เอรวมกับคลอโรฟิลล์บี) ของกล้าประดู่ป่าที่ปลูกเชื้อเห็ดปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีค่าสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวม ของกล้าประดู่ป่าที่ปลูกเชื้อเห็ดปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมเพิ่มขึ้นร้อยละ 167.78 และ 67.91 รายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 1 การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าส่งผลให้กล้าประดู่ป่าผลิตคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลักที่สำคัญ ในการดูดซับ และถ่ายทอดพลังงานแสงไปยังคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นแหล่งทำปฏิกิริยาแสง เป็นการสังเคราะห์อาหารของพืช อีกทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ยังบ่งบอกปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของพืช เช่น การขาดธาตุไนโตรเจน หรือมีการเข้าทำลายของศัตรูพืชส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง (สุริวรรณ และคณะ, 2560; ณัฐธิดา และบุบผา, 2564) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับการเติบโตของต้นกล้ายางพารา และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการการเติบโตของกล้ายางพาราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Ariff *et al*., 2012) เนื่องจากการเจริญเติบโตเป็นผลมาจากการปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นหน้าที่ของคลอโรฟิลล์ในการดูดกลืนพลังงานแสง และสังเคราะห์อาหารให้กับพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับธาตุไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง (Gardner *et al*., 2022)

ผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่า

การศึกษาผลของการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตรที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อครบ 180 วัน โดยตรวจวัดดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโตของกล้าไม้ 4 ดัชนี ได้แก่ มีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ขนาดทรงพุ่ม และมวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้ การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง และปริมาตร 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกล้าประดู่ป่าสูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความสูงเฉลี่ย 54.59 ± 8.83 50.88 ± 7.22 49.24 ± 6.47 45.06 ± 8.23 และ 38.71 ± 8.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตร 10 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง และปริมาตร 10 และ 30 จำนวน 1 ครั้ง ส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก

ของกล้าประดู่ป่า สูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอรากของกล้าประดู่ป่า มีค่าสูงที่สุดเมื่อปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 8.05 ± 1.02 มิลลิเมตร การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตรต่างๆ (10 20 และ 30 มิลลิลิตร) จำนวน 2 ครั้ง และปริมาตร 20 และ 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง ส่งผลให้ขนาดความกว้างของทรงพุ่มสูงขึ้น และแตกต่างจากกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่า การปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ส่งผลให้มวลชีวภาพของกล้าประดู่ป่า สูงกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่ามวลชีวภาพเฉลี่ย 16.03 ± 2.42 และ 10.92 ± 1.37 กรัม ตามลำดับ กล้าประดู่ป่าที่มีการปลูกเชื้อเห็ดปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ทรงพุ่ม และมวลชีวภาพรวม เมื่อเทียบกับชุดควบคุมเพิ่มขึ้นร้อยละ 41.02 42.98 14.34 และ 46.79 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อครบ 180 วัน หลังจากปลูกเชื้อเห็ดตับเต่า พบว่าการปลูกเชื้อเห็ดปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยกล้าประดู่ป่า สอดคล้องตามคำแนะนำปริมาตรการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าที่แปรผันตามความสูงของกล้าไม้ โดยแนะนำการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อความสูง 20 เซนติเมตร (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ องค์การมหาชน, 2564) ผลจากการปลูกเชื้อตับเต่าช่วยส่งเสริมการเติบโตของกล้าประดู่ป่าให้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าร่วมกับยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซีส และสนคาริเบีย ที่พบว่าต้นที่ได้ปลูกเชื้อมีการดูดซับธาตุอาหารของในดินเหมืองแร่ได้ดีกว่าส่งผลให้มีการเติบโตที่ดีกว่าต้นที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (สมบูรณ์, 2532) ที่พบว่าเอคโตไมคอร์ไรซามีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารของกล้าไม้ในดินเหมืองแร่ โดยต้นที่ได้รับเชื้อมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ จากการที่เชื้อเข้าไปอยู่รวมกับรากทำหน้าที่ย่อยธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่ใช้งานได้ง่าย อีกทั้งยังเพิ่มการแตกแขนงของรากพืช เพื่อใช้ในการหาอาหารได้ (อนงค์ และคณะ, 2551) รวมถึงการใช้เชื้อเห็ดตับเต่าที่เพาะเลี้ยงกับข้าวฟ่างมาทดลองในยูคาลิปตัส ซึ่งช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก พื้นที่ใบ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และการใช้เชื้อเห็ดตับเต่าในรูปแบบของสารแขวนลอย พบว่ามีการเพิ่มการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียม (สาวิตรี และประภาพร, 2548) และงานวิจัยซึ่งพบว่าการเจริญเติบโตของกล้าไม้ที่ปลูกร่วมกับเอคโตไมคอร์ไรซามีการน้ำหนักแห้งมากกว่ากล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (ทนุวงศ์ และอุทัยวรรณ, 2537; Jackson and Mason, 1984) การศึกษาของธนภักษ์ และคณะ (2564) รายงานว่า การใช้กล้าหว้าอายุ 7 เดือน ที่ปลูกเชื้อตับเต่ามีมวลชีวภาพมากกว่าไม่ได้ปลูกเชื้อทั้งมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งส่วนใบและลำต้น และมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (น้ำหนักแห้งส่วนราก) สอดคล้องกับการปลูกร่วมกับกล้ายางนา พบว่าเชื้อเห็ดตับเต่ามีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงที่สุด (มนต์นรินทร์ และคณะ, 2565)

ตารางที่ 1 ปริมาณของ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม ความสูงของลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ความกว้างของทรงพุ่ม และมวลชีวภาพโดยรวมของกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าครบ 180 วัน

Treatment	Chlorophyll a (mg/g)*	Chlorophyll b (mg/g)*	Total chlorophyll (mg/g)*	Stem height (cm)*	Diameter at root collar (mm)*	Canopy width (cm)*	Total biomass (g)*
Control	**0.90±0.48^{b}**	1.25±0.31^{a}	**2.15±0.18^{c}**	**38.71±8.20^{d}**	**5.63±0.62^{d}**	**31.79±0.82^{c}**	**10.92±1.37^{b}**
Inoculated once							
T1 (10 ml)	1.71±0.11^{ab}	**0.73±0.19^{a}**	2.43±0.08^{bc}	39.41±7.62^{d}	6.57±0.85^{c}	32.76±1.78^{bc}	11.50±1.28^{b}
T2 (20 ml)	1.29±0.66^{ab}	1.33±0.69^{a}	2.61±0.04^{bc}	42.76±8.39^{cd}	5.83±0.40^{d}	33.44±1.79^{b}	12.45±1.53^{ab}
T3 (30 ml)	1.98±0.03^{ab}	0.92±0.18^{a}	2.89±0.20^{abc}	45.06±8.23^{bc}	7.26±0.86^{b}	33.97±1.87^{b}	13.83±1.55^{ab}

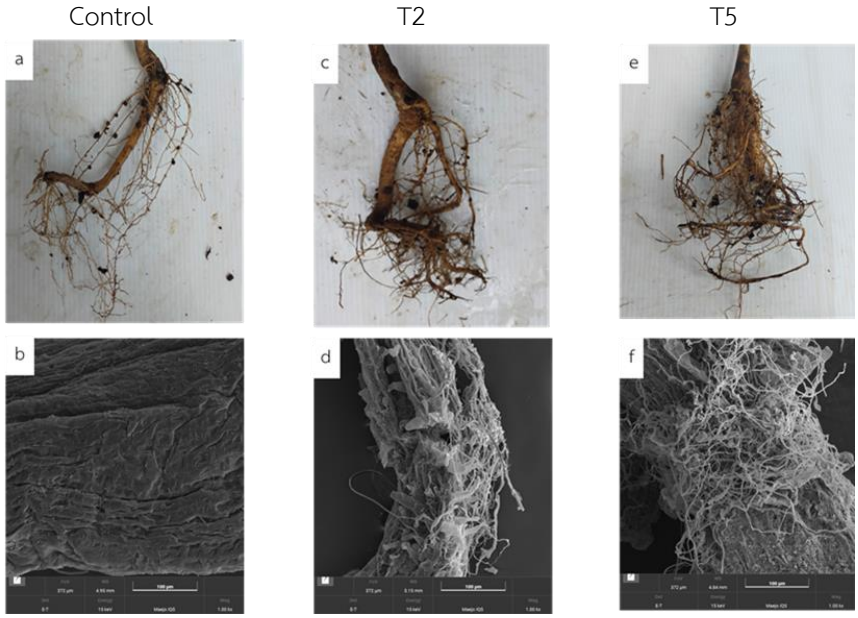
ตารางที่ 1 ปริมาณของ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม ความสูงของลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ความกว้างของทรงพุ่ม และมวลชีวภาพโดยรวมของกล้าประดู่ป่าหลังปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าครบ 180 วัน (ต่อ)

Treatment	Chlorophyll a (mg/g)*	Chlorophyll b (mg/g)*	Total Chlorophyll (mg/g)*	Stem height (cm)*	Diameter at root collar (mm)*	Canopy width (cm)*	Total biomass (g)*
Inoculated twice							
T4 (10 ml)	2.05±0.18^{ab}	1.09±0.21^{a}	3.14±0.03^{ab}	49.24±6.47^{ab}	6.73±0.86^{c}	34.00±0.88^{b}	13.07±1.01^{ab}
T5 (20 ml)	**2.41±0.31^{a}**	1.20±0.86^{a}	**3.61±0.55^{a}**	**54.59±8.83^{a}**	**8.05±1.02^{a}**	**36.35±2.14^{a}**	**16.03±2.42^{a}**
T6 (30 ml)	1.94±0.22^{ab}	**1.29±0.18^{a}**	3.22±0.04^{ab}	50.88±7.22^{a}	7.72±0.55^{ab}	35.41±2.87^{a}	14.45±1.66^{ab}

หมายเหตุ: a-d ตัวอักษรตัวยกที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การศึกษาลักษณะเส้นใยเห็ดตับเต่าโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เมื่อตรวจสอบลักษณะเส้นใยเห็ดตับเต่าที่อยู่ร่วมกับรากกล้าประดู่ป่า พบว่ากล้าประดู่ป่า ที่ปลูกเชื้อ 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีจำนวนรากแขนงและรากฝอย มากกว่ากล้าประดู่ป่าที่ไม่ปลูกเชื้อ และกล้าประดู่ป่า ที่ปลูกเชื้อจำนวน 1 ครั้ง ดังแสดงใน รูปที่ 2a 2c และ 2e เมื่อตรวจสอบการเกาะของเส้นใยเชื้อเห็ดรอบรากฝอยของกล้าประดู่ป่า ด้วยเทคนิค SEM ที่ขนาด 100 ไมโครเมตร พบว่า การปลูกเชื้อเห็ด 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง เส้นใย (Mycelium) มีลักษณะยาวเจริญสานตัวกันเป็นแผ่น (Fungal sheath) อยู่รอบๆ รากฝอย ดังแสดงใน รูปที่ 2d และ 2f เส้นใยบางส่วนจะเจริญเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ชั้น Epidermis ส่งผลให้รากมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นสามารถดูดซับความชื้นและธาตุอาหารได้มากขึ้น เส้นใยเห็ดตับเต่ายังช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุต่างๆ ในดินส่งให้รากพืชในรูปของอิออน ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (สุริวรรณและคณะ, 2560; Allen, 1991; Massicotte *et al.*, 2005) การปลูกเชื้อ 20 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง พบว่าผิวรากมีปริมาณเส้นใยเกาะเพียงบางๆ ดังแสดงใน รูปที่ 2d ส่วนรากประดู่ป่า ที่ไม่มีการปลูกเชื้อตรวจไม่พบเส้นใยเห็ดตับเต่า ดังแสดงใน รูปที่ 2b



รูปที่ 2 รากของกล้าประดู่ป่าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ด (a) ปลูกหัวเชื้อเห็ดปริมาตร 20 มิลลิลิตรจำนวน 1 ครั้ง (c) และ 2 ครั้ง (e) ภาพของรากที่ส่องโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ขนาด 100 ไมโครเมตร ไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ด (b) ปลูกเชื้อเห็ดปริมาตร 20 มิลลิลิตรจำนวน 1 ครั้ง (d) และ 2 ครั้ง (f)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเจริญเติบโตของกล้าประดู่ป่า อายุ 4 เดือน โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตรวม 180 วัน พบว่าการปลูกเชื้อเห็ด 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยกล้าประดู่ป่ามีการเจริญเติบโตดีที่สุดโดยมีการใช้เชื้อเห็ดปริมาตรน้อยที่สุด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวม ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ทรงพุ่ม และมวลชีวภาพรวม แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อตรวจสอบรากด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ขนาด 100 ไมโครเมตร พบเส้นใยเห็ดตับเต่าเจริญสานกันเป็นแผ่นรอบๆ รากฝอย ช่วยเพิ่มการดูดซับความชื้นและแร่ธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะแร่ธาตุที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จากการทดลองนี้สามารถนำไปต่อยอด และใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมการปลูกประดู่ป่าร่วมกับการปลูกเชื้อเห็ดตับเต่าให้แก่เกษตรกร รวมทั้งเป็นแนวทางการวิจัยในพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2565 และ บทความวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัย จากทุนศิษย์ก้นกุฏิ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ขอขอบคุณ ดร.สุจิตรา โกศล ประธานมูลนิธิเห็ดไมคอร์ไรซาเพื่ออนุรักษ์ และ ฟื้นฟูป่าไม้ ที่ช่วยให้คำแนะนำการวิจัย นายไพฑูรย์ จันทร์โลหิต ผู้อนุเคราะห์กล้าไม้ทดลอง และนางสาวณัฐณิชา กติกาโชคสกุล ผู้ช่วยเก็บข้อมูลระหว่างการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

กิตติมา ด้วงแค, วินันท์ดา หิมะมาน และจันจิรา อายะวงศ์. (2548). เอคโตไมคอร์ไรซากับการควบคุมโรคเน่ากล้าไม้ยูคาลิปตัส. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 1 – 17.

ณัฐธิดา อินปิก และบุบผา คงสมัย. (2564). การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ที่สกัดตัวทำละลายหลายชนิดเข้าด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในใบของบุกเนื้อทราย. วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 4(3): 81 - 83.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. (2542). เห็ดกินได้ เห็ดพื้นบ้าน ในประเทศไทย. ใน: การสัมมนาวิชาการ เรื่อง ผักพื้นบ้านและอาหารพื้นเมือง. กรมการแพทย์ สถาบันการแพทย์แผนไทย, นนทบุรี. 130 - 132.

ทนุวงศ์ แสงเทียน และอุทัยวรรณ แสงวณิช. (2537). การเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb.) ที่ได้รับการปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา. วารสารวนศาสตร์ 13(1): 22 - 28.

เทียมใจ คมกฤส. (2542). กายวิภาคของพฤกษ์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 20 – 50.

ธนภักษ์ อินยอด, ธนากร ลัทธิถีระสุวรรณ, ขนิษฐา ชวนะนรเศรษฐ์, ธนภัทร เติมอารมณ์, ชาตรี กอนี, สุริมา ญาติโสม, สุจิตรา บัวลอย และปิยะดา เอี่ยมประสงค์. (2564). การศึกษาอายุของต้นหว้าที่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อเห็ดตับเต่าภายใต้สภาวะเรือนปลูกพืช. วารสารเกษตรนเรศวร 18(1): 1 – 13.

ธนิตา อาสว่าง, อุไรวรรณ วิจารณกุล, รุ้งเพชร แข็งแรง, ณัฏฐิกา สุวรรณาศรัย และเชิดชัย โพธิ์ศรี (2558). เอคโตไมคอร์ไรซาของเห็ดเผาะสิรินธรในกล้าไม้ยางนา. ใน: การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย: องค์ความรู้ด้านนิเวศวิทยาเพื่อการจัดการที่ยั่งยืน. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 88 – 93.

ประภาพร ตั้งกิจโชติ, มัชฌิมา แทนสา และกวิศร์ วานิชกุล. (2555). ผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการออกรากของกิ่งตอนชมพู่พันธุ์เพชรสายรุ้ง. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ. 272 - 279.

ปานทิพย์ ขันวิชัย และประภาพร ตั้งกิจโชติ. (2555). ผลของเชื้อเห็ดตับเต่า (Boletus colossus Heim.) ไอโซเลทต่างๆ ต่อการเติบโตทางกิ่งใบ และมวลชีวภาพของต้นกล้าฝรั่ง Okinawa. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ. 232 – 239.

มนต์นรินทร์ เรืองจิตต์, สุธีระ เหิมฮึก, จุฑามาศ อาจนาเสียว และนครินทร์ สุวรรณราช. (2565). ประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดป่าเศรษฐกิจต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางนา. วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 6(2): 59 - 78.

รวีวรรณ เดื่อมขันมณี. (2556). พัฒนาการวิจัยเห็ดตับเต่าจังหวัดพระนครศรีอยุธยาอย่างยั่งยืน. รายงานความก้าวหน้าแผนงานวิจัย คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. พระนครศรีอยุธยา.

วชิรญา เหลียวตระกูล, วิจิตรา เหลียวตระกูล และวรรภา วงศ์แสงธรรม. (2565). นวัตกรรมด้านอาหารจากฐานทรัพยากรท้องถิ่นในชุมชนสามเรือน อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยาสู่เชิงพาณิชย์. Science, Technology, and Social Sciences Procedia 2022(4): 1 – 10.

สมบูรณ์ บุญยืน. (2532). ผลของเชื้อเอคโตไมคอรไรซา ไพโซไลธัส ทิงธอเรียส ต่อการเจริญเติบโตและการดูดซับธาตุอาหารของกล้าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส และสนคาริเบีย ที่ปลูกบนมูลดินเหมืองแร่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทสาขาวนวัฒนวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

สำนักงานนโยบายและแผนกทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2565). สร้างคาร์บอนเครดิต-สร้างรายได้. แหล่งข้อมูล: https://www.onep.go.th. ค้นหาเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2565.

สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากชีวภาพ (องค์การมหาชน). (2564). คู่มืออบรมเชิงปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเห็ดไมคอร์ไรซาและการปลูกพืชเศรษฐกิจร่วมกับการเพาะเห็ดไมคอร์ไรซา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากชีวภาพ (องค์การมหาชน). 5 – 29.

สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้. (2556). ประดู่ป่า. แหล่งข้อมูล: https://forestinfo.forest.go.th/pfd/Files/FileEBook/EB3.pdf. ค้นหาเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2564

สาวิตรี วีระเสถียร และประภาพร ตั้งกิจโชติ. (2548). ผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยูคาลิปตัส. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 36(Suppl.5-6): 268 – 271.

สุจิตรา โกศล, สุนารี วังลึก, ธนภักษ์ อินยอด, ธนภัทร เติมอารมณ์, วรรณา มังกิตะ และธนากร ลัทธิ์ถีระสุวรรณ. (2562). ความหลากหลายทางชนิดพันธุ์และนิเวศวิทยาของเห็ดป่ากินได้ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านบุญแจ่ม จังหวัดแพร่. วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 3(1): 38 – 46.

สุริวรรณ มูลจันทร์, นิสา เหล็กสูงเนิน, สุวิมล อุทัยรัศมี และบุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี. (2560). ผลของความเข้มแสงต่อการเติบโตและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของกล้าไม้ป่ายืนต้น. วารสารวนศาสตร์ 36(2): 12 – 23.

อธิษฐาน ชมเพ็ญ และอมรศรี ขุนอินทร์. (2564). ประสิทธิภาพของเชื้อเห็ดตับเต่า (*Boletus* sp.) ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (Meloidogyne incognita). วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 21(2): 13 – 24.

อนงค์ จันทร์ศรีกุล, พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ และอุทัยวรรณ แสงวณิช. (2551). ความหลากหลายของเห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 108 – 225.

อนงค์ จันทร์ศรีกุล และอัจฉรา พยัพพานนท์. (2530). ตับเต่า: เห็ดที่ควรพัฒนา. วารสารกสิกร 60(5): 441 - 445.

Allen, M.F. (1991). The ecology of mycorrhizae. In Journal of Tropical Ecology, A. C. Newton, Cambridge: Cambridge University Press. pp. 194.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24(1): 1 - 15.

Ariff, E.A.R.E., Abdullah, S. and Suratman, M.N. (2012). The Relationships between Height and Stomatal Conductance, Chlorophyll Content, Diameter of Rubber Tree (Hevea brasiliensis) Saplings. In: The 12th Symposium of the Malaysian Society of Applied Biology. Engineering and Industrial Applications (ISBEIA), Kuala Terengganu. 1 - 4.

Conjeaud, C., Scheromm, P. and Mousain, D. (1996). Effect of phosphorus and ectomycorrhiza on maritime pine seedling (*Pinus pinuaster*). New Phytologist 133(2): 345 – 351.

Elliott, S., Kerby, J., Blakesley, D., Hardwick, K., Woods, K. and Anusarn-sunthorn, V. (2000). Forest Restoration for wildlife conservation. Chiang Mai: International Tropical Timber Organization and the Forest Restoration Research Unit, Chiang Mai University. 13 – 17.

Gardner, A., Ellsworth, D.S., Pritchard, J. and MacKenzie, A.R. (2022). Are chlorophyll concentrations and nitrogen across the vertical canopy profile affected by elevated CO2 in mature Quercus trees. Springer (36): 170 – 180.

Jackson, R.M., and Manson, P.A. (1984). Mycorrhiza. London: Edward Arnold, Ltd. 1 – 60.

Massicotte H.B., Melville, L.H. and Peterson, R.L. (2005). Structural features of mycorrhizal associations in two members of the Monotropoideae, *Monotropa uniflora* and *Pterospora andromedea.* Original Paper, Mycorrhiza 15: 101 – 110.

Panawala, L. (2017). Difference Between Chlorophyll A and B Difference Between Chlorophyll A and B Main Difference – Chlorophyll A vs Chlorophyll B. Souece: https://www.researchgate.net/publication/316584030. Retrieved from 23 January 2023.

Panngom, K., Lee, S.H., Park, D.H., Sim, G.B., Kim, Y.H., Han, H.S., Park, G. and Choi, E.H. (2014). Non-Thermal Plasma Treatment Diminishes Fungal Viability and Up-Regulates Resistance Genes in a Plant Host. PLoS One 9(6): 1 - 12.

Siebeneichler, S.C., Barbosa, J.S., Cruz, A.M.M., Ramos, M.A.D., Fernandes, H.E. and Nascimento, V.L. (2019). Comparison between extraction methods of photosynthetic pigments in Acacia mangium. Communications in Plant Sciences 1(9): 1 – 5.

❑❑❑❑❑