

นิพนธ์ต้นฉบับ

การเพิ่มความทนแล้งของกล้าไม้พะยอมและรังที่มีเห็ดเผาะหน้าง
อยู่ร่วมที่รากแบบเอคโตไมคอร์ไรซาImprovement of Drought Tolerance in *Shorea roxburghii* and
Shorea siamensis Seedlings with *Astraeus odoratus* as Ectomycorrhizaปาริชาติ แสงงาม¹Parichat Saengngam¹ฉันทิพา ศรีดาวงษ์¹Chanthipha Sridawong¹ซุลฟา หยีราhem¹Sulfa Yeerahem¹อรญา บุราไกร¹Oraya Burakai¹เจษฎา วงศ์พรหม²Jetsada Wongprom²นิสา เหล็กสูงเนิน¹Nisa Leksungnoen¹ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง^{1*}Tharnrat Kaewgrajang^{1*}¹ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900

²คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900²Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding Author; Email: ffortrk@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 21 พฤษภาคม 2564

รับแก้ไข 6 กรกฎาคม 2564

รับลงพิมพ์ 13 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the drought tolerance of *Shorea roxburghii* and *Shorea siamensis* seedlings resulting from *Astraeus odoratus* acting as an ectomycorrhiza. The spore suspension of *A. odoratus* was inoculated into the two seedling species at a concentration of 10 ml/seedling. After one year, the drought tolerance of seedlings was determined by stopping irrigation for 7 weeks. During the drought tolerance experiment, all data were collected at four different times. The obtained data was then analyzed using t-test to compare the drought resistance between the inoculated and non-inoculated seedlings.

Results indicated that all the growth parameters of inoculated seedlings of *S. roxburghii* were not significantly higher than the non-inoculated seedlings when under saturated soil water content or 61-100 percent of soil moisture. When the soil moisture was reduced to between 41-60 percent, the inoculated *S. roxburghii* seedlings had a significantly higher performance index,

Fv/Fm, and leaf area than those of the non-inoculated seedlings. For the *S. siamensis* seedlings, it was found that the inoculated seedlings had a significantly higher diameter at root collar, height, and leaf surface area compared to those of the non-inoculated seedlings under saturated soil water content. However, the inoculated *S. siamensis* seedlings had a significantly higher diameter at root collar than the non-inoculated control when the soil moisture was reduced to between 21-40 percent. Our results indicate that inoculation of *A. odoratus* on both the seedling species can improve drought tolerance of the two dipterocarp seedlings.

Keywords: Mycorrhiza, Dipterocarpaceae, Water stress

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้พะยอมและรังที่มีเห็ดเผาะหนึ่งเป็นเอกโตไมคอร์ไรซาที่ราก โดยทำการปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์เห็ดเผาะหนึ่งปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อต้น ให้กับกล้าไม้ทั้งสองชนิด เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นได้ทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้โดยการงดการให้น้ำติดต่อกันนาน 7 สัปดาห์ โดยระหว่างการทดสอบนี้ได้เก็บข้อมูลของกล้าไม้จำนวน 4 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการทดสอบ t-test เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีการเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อดินมีความชื้นลดลงเหลือ 41 - 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อมีพื้นที่ผิวใบ ดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ มากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับกล้าไม้รังพบว่าเมื่อดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง และพื้นที่ผิวใบ มากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อดินมีความชื้นลดลงเหลือเพียง 21-40 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งให้แก่กล้าไม้ มีส่วนช่วยเพิ่มความทนแล้งให้กับกล้าไม้วังค์ยางทั้งสองชนิดได้

คำสำคัญ: ไมคอร์ไรซา ไม้วังค์ยาง สภาวะขาดน้ำ

คำนำ

ปัจจุบันป่าไม้ถูกแผ้วถางเพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้พื้นที่ป่าเกิดความเสื่อมโทรม พื้นที่ป่าเดิมถูกทำลายกลายเป็นพื้นที่แห้งแล้ง จึงควรมีการปลูกป่าฟื้นฟูเพื่อเป็นการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งหากมีการคัดเลือกพรรณไม้ที่เหมาะสม อีกทั้งยังมีคุณภาพกล้าไม้

ที่ดี มีการเติบโตและมีความสามารถในการทนแล้งได้ดี จะส่งผลให้กล้าไม้ที่นำไปปลูกในพื้นที่เสื่อมโทรมมีการรอดตายเพิ่มขึ้น ทำให้การฟื้นฟูป่าประสบความสำเร็จยิ่งขึ้นด้วย จากการรายงานที่ผ่านมาพบว่าวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มคุณภาพของกล้าไม้วังค์ยาง (Dipterocarpaceae) ก่อนนำไปปลูกในพื้นที่เสื่อมโทรมได้ คือ การปลูกเชื้อราเอกโตไมคอร์ไรซา

(Ectomycorrhizal fungal inoculation) ให้แก่กล้าไม้ (Sangtiew and Sangwanit, 1994; Duangkae, 2002; Turjaman *et al.*, 2005; Kaewgrajang *et al.*, 2013; 2019) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากนั้นช่วยให้พืชมีการเติบโตมากกว่าพืชที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยที่ราก เนื่องจากราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของรากในการดูดซับธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส นอกจากนี้ราเอคโตไมคอร์ไรซายังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำของราก ส่งผลให้พืชที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากมีความสามารถในการทนแล้งได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา (Nunez *et al.*, 2006; Smith and Read, 2010) อีกทั้งราเอคโตไมคอร์ไรซายังสามารถทำให้พืชทนทานต่อความเป็นพิษในดิน (Omari *et al.*, 2020) และมีส่วนช่วยในการยับยั้งโรคในระบบรากด้วย (Duangkae *et al.*, 2002) นอกจากราเอคโตไมคอร์ไรซาจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่กล้าไม้แล้วยังมีราเอคโตไมคอร์ไรซาหลายชนิดที่รับประทานได้ ซึ่งทั่วโลกพบว่าเห็ดที่กินได้ส่วนใหญ่เป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา ในแถบแอฟริกาตะวันตก (West Africa) พบว่า เห็ดกินได้เป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา 42 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนเห็ดกินได้ทั้งหมดซึ่งได้แก่ สกุลเห็ดระโงก (*Amanita*) สกุลเห็ดขิงเห็ดข่า (*Lactarius*) สกุลเห็ดตะไคร่ (*Russula*) สกุลเห็ดมันปู (*Cantharellus* หรือ *Craterells*) เป็นต้น (Yorou *et al.*, 2014) ในประเทศไทยพบเห็ดประมาณ 2,500 ชนิด ซึ่งเป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา 907 ชนิดหรือคิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ของเห็ดที่พบทั้งหมด และในจำนวนเห็ดเหล่านี้เป็นเห็ดกินได้ 336 ชนิด (Sangwanit *et al.*, 2013) หนึ่งในเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่รับประทานได้คือ เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) ซึ่งเป็นเห็ดที่คนนิยมรับประทาน มีราคาแพง อีกทั้งยังมีฤทธิ์ในการ

ยับยั้งเชื้อวัณโรค และฤทธิ์ยับยั้งการเกิดมะเร็งด้วย (Kittibhorn *et al.*, 2012) จากผลการวิจัยของ Kaewgrajang *et al.* (2013; 2019) พบว่าเห็ดเผาะหนังสามารถช่วยเพิ่มการเติบโตให้กับกล้าไม้วงศ์ยางได้ และเป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่มีศักยภาพที่จะนำมาทำเป็นหัวเชื้อผลิตกล้าไม้ป่าให้มีเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก อย่างไรก็ตามที่ผ่านมาจากการศึกษาของ Kaewgrajang (2008) ซึ่งได้ทดสอบการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาที่ปลูกและไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังในสภาวะขาดน้ำ พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีแนวโน้มทนแล้งได้ดีกว่า โดยพิจารณาจากค่าการเปิดปากใบ ซึ่งนับว่าการศึกษาค้นคว้าของราเอคโตไมคอร์ไรซาที่มีส่วนช่วยให้กล้าไม้วงศ์ยางมีความทนแล้งในประเทศไทยนั้นยังมีข้อมูลน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการทนแล้งของกล้าไม้วงศ์ยาง 2 ชนิด (รังและพะยอม) ที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาในสภาพเรือนเพาะชำ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมกล้าไม้รังและพะยอมให้มีเชื้อเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก

ในการศึกษาค้นคว้านี้เลือกไม้วงศ์ยาง 2 ชนิด ได้แก่ รังและพะยอม เพื่อนำมาทดสอบความทนแล้ง โดยนำเมล็ดไม้รังที่เก็บจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.เพชรบุรี ส่วนเมล็ดพะยอมเก็บจากสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์หาดวนกร จ.ประจวบคีรีขันธ์ มาตัดปีกออก แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำเมล็ดไปใส่ในกระสอบที่เปียกชื้น เป็นเวลา 7-10 วัน เมื่อเมล็ดมีรากงอกยาวประมาณ 2-3 ซม. นำเมล็ดที่งอกไปปลูกในกระถางพลาสติก ซึ่งบรรจุวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ เวอร์มิคูไลต์ และพีทมอส อัตราส่วน 8:2 เมื่อกล้าไม้มีอายุได้

1 เดือน ได้เตรียมสารแขวนลอยสปอร์เห็ดเหาะหนึ่งตามวิธีของ Kaewgrajang *et al.* (2015) โดยกล้าไม้แต่ละชนิดนั้นได้ทำการปลูกสารแขวนลอยสปอร์เห็ดเหาะหนึ่ง (treatment) ที่มีความหนาแน่นของสปอร์เท่ากับ 1×10^7 สปอร์/มล. ปริมาตร 10 มล./ต้น จำนวน 15 ต้น และเตรียมกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อเห็ดเหาะหนึ่ง (control) จำนวน 15 ต้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ใช้กล้าไม้ชนิดละ 30 ต้น โดยมีการดูแลรดน้ำกับกล้าไม้ในปริมาณเท่ากัน วันละ 1 ครั้ง หลังจากกล้าไม้มีอายุได้ 9 เดือน ได้ย้ายปลูกลงกระถางพลาสติกขนาด 15 นิ้ว ซึ่งบรรจุด้วยวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของหนาดินและขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 เมื่อปลูกกล้าไม้ในกระถางแล้ว ได้เติมวัสดุปลูกดังกล่าวในกระถาง โดยให้น้ำหนักของกล้าไม้และวัสดุปลูกแต่ละกระถางมีน้ำหนักเท่ากับ 1.2 กิโลกรัม จากนั้นนำกล้าไม้ไปวางในเรือนเพาะชำที่มีหลังคาโรงเรือนเป็นพลาสติก ซึ่งสามารถป้องกันฝนตกในขณะที่ทำการทดลองความทนแล้งได้ หลังจากนั้น 3 เดือน กล้าไม้ที่ย้ายปลูกสามารถตั้งตัวในกระถาง และเริ่มมีใบแตกใหม่ จึงได้ทำการทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้

การทดสอบความทนแล้ง

การทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้ เริ่มจากการรดน้ำให้กับกล้าไม้จนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil water content) จากนั้นจะไม่มี การให้น้ำกับกล้าไม้อีก เป็นเวลา 7 สัปดาห์ (หรือจนกระทั่งกล้าไม้ตาย) ในช่วงเวลาดังกล่าวได้ทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 วัดข้อมูลวันแรกที่ให้น้ำแก่กล้าไม้จนดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ครั้งที่ 2 วัดข้อมูลในสัปดาห์ที่ 2 หรือ 14 วัน หลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้ ครั้งที่ 3 วัดข้อมูลในสัปดาห์ที่ 4 หรือ 28 วัน หลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้ และ ครั้งที่ 4 วัดข้อมูลในสัปดาห์ที่ 7 หรือ 49 วัน หลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้

ซึ่งแต่ละครั้งได้วัดความชื้นของดินโดยใช้ soil moisture meter วัดค่าที่ 3 ระดับ ได้แก่ บนกระถาง กลางกระถาง และใต้กระถาง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยความชื้นดินแต่ละกระถาง จากนั้นนำค่าความชื้นดินมาหาช่วงความชื้นของดินในแต่ละครั้งที่เก็บข้อมูล สำหรับการเก็บข้อมูลอื่น ๆ ในแต่ละครั้งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากและเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซา

ก่อนทำการรดน้ำให้กับกล้าไม้จนกระทั่งอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้สุ่มเลือกกล้าไม้รังและพะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ได้ทำการปลูกเชื้อทริทเมนตัสละ 3 ต้น เพื่อนำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของรากเอกโตไมคอร์ไรซา และหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซา ทำการสุ่มรากจากกล้าไม้แต่ละต้น หลังจากนำรากไปล้างเศษดินให้สะอาดแล้วนำรากมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาตามวิธีของ Agerer (1997) โดยศึกษา ลักษณะการแตกแขนง สี ผิวของราก และลักษณะทางกายวิภาคของรากทั้งที่มีและไม่มีเอกโตไมคอร์ไรซาที่ราก จากนั้นนำรากจากกล้าไม้แต่ละต้นมาตัดรากเป็นท่อนสั้นๆ ยาวประมาณ 1-2 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นตัวอย่างรากไปวางบนจานเลี้ยงเชื้อ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซาด้วยวิธี Grid Line Intersection Method ของ Brundrett *et al.* (1996) โดยในแต่ละตัวอย่างรากได้ทำการนับเปอร์เซ็นต์การเกิดจากจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2. การวัดข้อมูลการเติบโตของกล้าไม้

ข้อมูลการเติบโตที่ทำการวัด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง พื้นที่ผิวใบ ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดในการวัดข้อมูลดังนี้

2.1 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้ โดยใช้ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และวัดความสูงของกล้าไม้ด้วยเทปวัดระยะจากระดับเดียวกันถึงปลายยอด ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

2.2 พื้นที่ผิวใบ ทำการถ่ายภาพของใบทุกใบของกล้าไม้แต่ละต้น แล้วนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบในด้วยโปรแกรม Image J (Aboukarima *et al.*, 2017) ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

2.3 ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ (Performance index, Pi) และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ทำการวัดใบที่มีลักษณะสมบูรณ์ ต้นละ 1 ใบ ด้วยเครื่อง Chlorophyll Fluorometer (Model Handy Pea, Hansatech Instruments, UK) ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

2.4 เมื่อสิ้นสุดการทดสอบได้นำกล้าไม้แต่ละต้นไปทำความสะอาดเศษดินออก นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่เพื่อหาน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 4 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง พื้นที่ผิวใบ ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ของใบพืช และน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ที่ปลูกและไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนึ่ง

มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ t-test ด้วยโปรแกรม R Studio (RStudio Team, 2020)

ผลและวิจารณ์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากและเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซา

เมื่อเห็ดเผาะหนึ่งเข้าไปเจริญในรากของกล้าไม้ พบว่ารากเอกโตไมคอร์ไรซาที่เกิดขึ้นของพะยอมและรังอายุ 1 ปี มีขนาดใหญ่กว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาประมาณ 1-2 เท่า รากเอกโตไมคอร์ไรซาของพะยอมมีการแตกแขนงแบบขนนก (monopodial-pinnate) แต่ของรังนั้นไม่แตกแขนง (unramified) สีน้าตาลอ่อน เมื่อรากมีอายุมากขึ้นมีสีน้ำตาลปนดำ ผิวเรียบ มันวาว มี Rhizomorph สีน้าตาลพันอยู่รอบ ๆ ราก พบ Sclerotium รูปร่างกลมหรือเกือบกลม สีน้าตาลถึงสีส้มปนน้ำตาล ผิวเรียบ เจริญปนกับ rhizomorph ด้วย สำหรับลักษณะทางกายวิภาคของรากพบว่าบริเวณชั้นนอกของเซลล์ผิว (epidermis) ของรากเอกโตไมคอร์ไรซาของรังและพะยอมมีแผ่นแมนเทิล (mantle) หนาประมาณ 10-25 ไมโครเมตร และพบฮาร์ติกเน็ต (hartig net) อยู่ระหว่างเซลล์ชั้น Epidermis แตกต่างจากรากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาซึ่งจะไม่มีแผ่นแมนเทิลและฮาร์ติกเน็ต

สำหรับเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซา พบว่ากล้าไม้ทั้งสองชนิดที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่ง (SR inoc) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซา (55.96 เปอร์เซ็นต์) มากกว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่ง (SS inoc) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอกโตไมคอร์ไรซา 39.56 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1)

จากการศึกษาพบว่ากล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซามากกว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Kaewgrajang *et al.* (2013) พบว่ากล้าไม้อย่างนาที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาเท่ากับ

60.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากล้าไม้พะยอมและกล้าไม้รังในการการศึกษานี้ ทั้งนี้อาจเกิดจากวัสดุปลูกและชนิดของกล้าไม้แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ว่าเห็ดเผาะหนังอาจมีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซากับอย่างนาได้ดีกว่ากล้าไม้รังและพะยอม ซึ่งในประเด็นนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

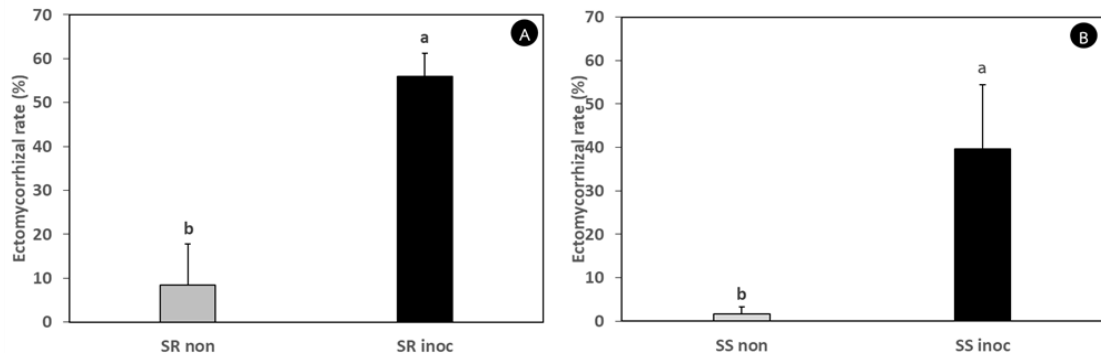


Figure 1 Ectomycorrhizal colonization rate of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B). The vertical lines above the bars indicate standard deviations, the same letter on bars indicate an insignificantly difference (t-test); SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากและความสูง

เมื่อกกล้าไม้อยู่ในสภาวะที่ได้รับน้ำเต็มที่หรือดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ สามารถวัดความชื้นได้ 61-100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อกกล้าไม้ไม่ได้รับการให้น้ำนานติดต่อกัน 2, 4 และ 7 สัปดาห์ ดินมีค่าความชื้น 41-60, 21-40 และ 0-20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการไม่ให้น้ำแก่กล้าไม้ติดต่อกัน 7 สัปดาห์ ทำให้กล้าไม้ทั้งสองชนิดตาย ไม่สามารถวัดข้อมูลการเติบโตได้ ดังนั้นจึงสิ้นสุดการทดลองและทำการเปรียบเทียบข้อมูลจาก 3 ช่วงความชื้นดินเท่านั้น

โดยพบว่าทั้งสภาวะที่ดินมีความชื้น 61-100 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและ

ไม่ปลูกเชื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากและความสูงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2A, Figure 2C) ในขณะที่กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งสภาวะที่ดินมีความชื้น 61-100 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2B) ที่สภาวะดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ในสภาวะที่ดินมีความชื้น 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีความสูงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2D)

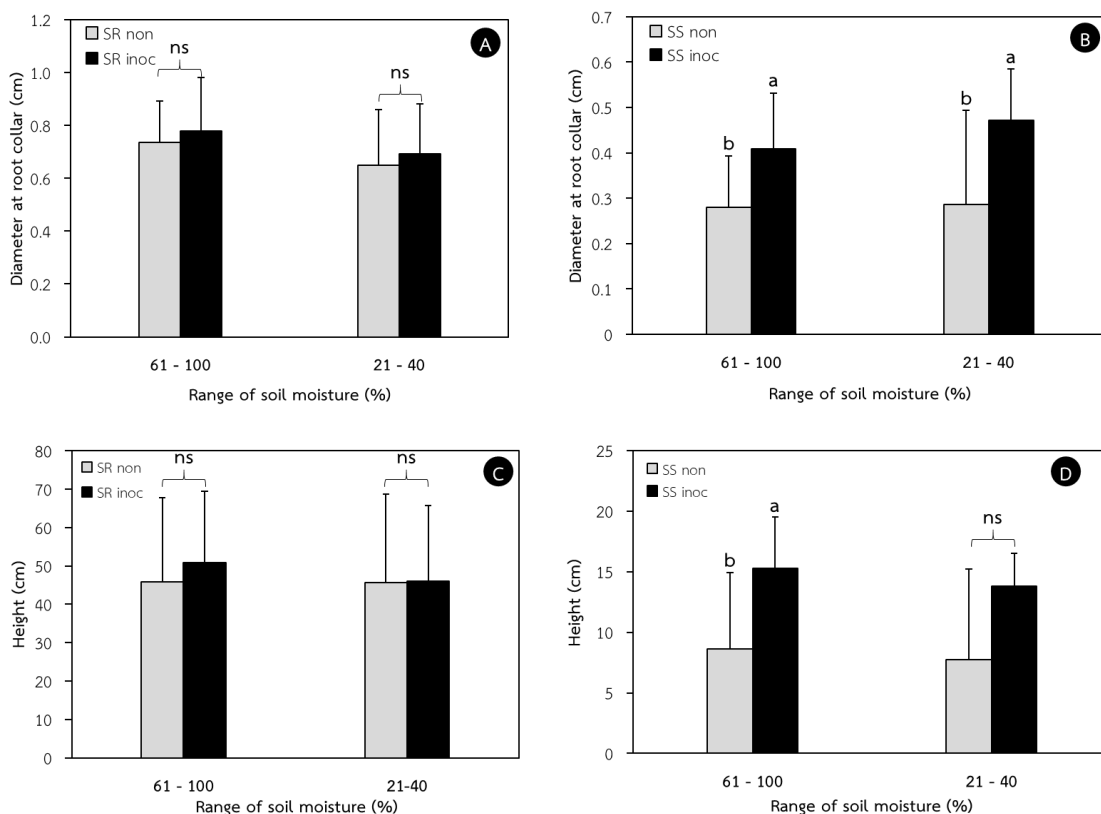


Figure 2 Diameter at root collar and height of *Shorea roxburghii* (A, C) and *S. siamensis* (B, D); vertical lines above the bars indicate standard deviations, with the different letters on bars under each soil moisture range indicating a significant difference (t-test); ns= non-significant different; SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากล้าไม้พะยอมและกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งมีการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก และความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ สอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่ากล้าไม้วงศ์ยางที่มีเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาจะมีการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากและความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ (Sangtuan and Sangwanit, 1994; Kaewgrajang *et al.* 2013) Smith and Read (2010)

ได้อธิบายไว้ว่าราเอคโตไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวของราก การแผ่ขยายตัวของรากทำให้สามารถดูดซึมน้ำและแร่ธาตุส่งผลให้กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อจึงมีการเติบโตที่ดีกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ สำหรับระบบรากของไม้รังนั้น จะสร้างเหง้าในระยะกล้า ซึ่งส่วนเหง้านี้จะทำหน้าที่สะสมอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงส่วนยอด ทำให้บริเวณส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้ชนิดนี้มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าเมื่อกล้าไม้รังที่อยู่ในสภาวะเครียดจากการ

ที่ดินมีความชื้นลดลงเหลือ 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Kipfer *et al.* (2012) พบว่าในสภาวะแห้งแล้งกล้าไม้สนที่ปลูกเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซามีการเติบโตมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Wanroon (2019) ที่พบว่าเมื่อกล้าไม้ยูคาลิปตัสอยู่ในสภาวะเครียดจากการที่ให้น้ำมาใช้ได้น้อยลง (กว่าภาวะปกติ) เนื่องจากการมีเอคโตไมคอร์ไรซาทำให้ได้น้ำมาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากกว่าการไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากสัมพันธ์เฉลี่ยและความสูงสัมพันธ์เฉลี่ยมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงใน Figure 2 มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากกล้าไม้เป็นกล้าที่เพาะจากเมล็ด จึงมีการแปรผันกันสูง แม้ว่าเมล็ดจะเก็บมาจากแหล่งเดียวกันก็ตาม

พื้นที่ผิวใบ

จาก Figure 3 แสดงให้เห็นว่าในภาพรวมกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งทั้งสองชนิดมีพื้นที่ผิวใบมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ เมื่อนำค่าไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้ว พบว่าในช่วงความชื้นดิน 61-100 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ผิวใบของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (362.75 ตร.ซม.) และกล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (221.23 ตร.ซม.) มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความชื้นในดินลดลงเหลือ 41-60 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ผิวใบกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ

(457.12 ตร.ซม., 359.03 ตร.ซม. ตามลำดับ) มีค่ามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (213.60 ตร.ซม., 172.99 ตร.ซม. ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3A) สำหรับกล้าไม้รังพบว่าเมื่อดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ผิวใบกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อ (219.84 ตร.ซม.) มีค่ามากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (106.46 ตร.ซม.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อดินมีความชื้นลดลงเหลือ 41-60 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีพื้นที่ผิวใบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3B) โดยปกติกล้าไม้รังแต่ละต้นมีใบจำนวนน้อย (3-5 ใบ) ซึ่งเมื่อดินมีความชื้นลดลง กล้าไม้ปรับตัวด้วยการทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำ อาจส่งผลให้พื้นที่ผิวใบของรังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อในช่วงความชื้นดินดังกล่าวมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าเมื่อดินมีความชื้นลดลงกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งทั้งสองชนิดนี้มีพื้นที่ผิวใบมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ ซึ่งการที่พืชมีพื้นที่ผิวใบมาก แสดงให้เห็นถึงการมีพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงมาก พืชจะสามารถผลิตอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อใช้ในการเติบโตภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ (Suwanwong, 2019) อย่างไรก็ตามการที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ ทั้งที่พื้นที่ผิวใบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไม้ชนิดนี้มีระบบรากที่เป็นเหง้า ซึ่งทำหน้าที่สะสมอาหารและสามารถได้รับอาหารเพื่อใช้ในการเติบโตของส่วนยอด

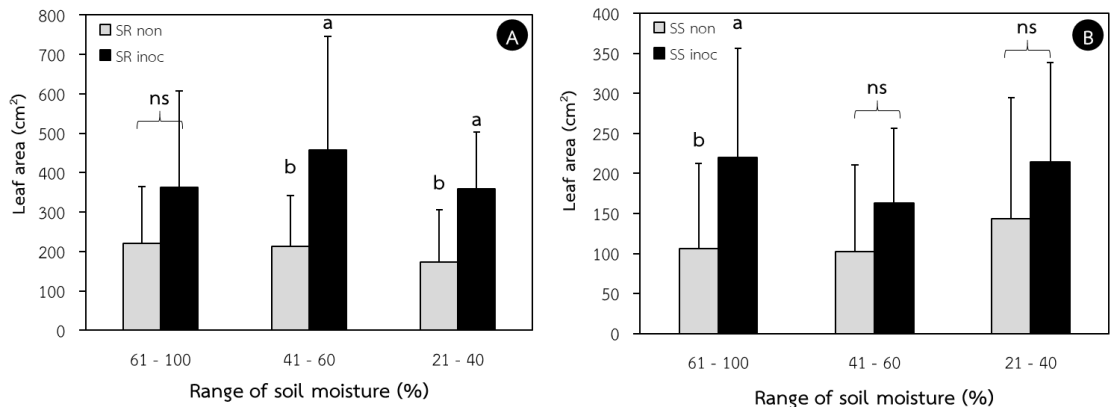


Figure 3 Leaf surface area of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B) under different soil moisture content; vertical lines above the bars indicate standard deviations, with the different letters in each soil moisture range indicating a significant difference (t-test); ns= non-significant different; SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ (Performance index, Pi) และ ค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm)

จากผลการศึกษาพบว่าในช่วงความชื้นดินลดลงเหลือ 41–60 เปอร์เซ็นต์ ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (0.77) มีค่ามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (0.49) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เมื่อความชื้นดินลดต่ำลงจนถึง 21–40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อนั้นมีดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4A) สำหรับกล้าไม้รังพบว่าทั้ง 3 ช่วงความชื้นดิน กล้าไม้รัง

ที่ปลูกเชื้อและไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งมีค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4B)

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ พบว่าในช่วงความชื้นดินที่ 61-100 และ 41–60 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (0.74, 0.75 ตามลำดับ) มีค่ามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (0.64, 0.68 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4C) ในขณะที่กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้รังไม่ได้ปลูกเชื้อในทุกช่วงความชื้นดิน (Figure 4D)

ในการวัดค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ สามารถบ่งบอกการเติบโตภายใต้สภาวะความเครียดที่เกิดกับพืชได้ ซึ่งในใบพืชที่สมบูรณ์ไม่อยู่ในสภาวะเครียดจะมีค่าดังกล่าวสูงกว่าใบพืชที่อยู่ภายใต้สภาวะเครียด (Suwanwong, 2019) จากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกล้าไม้เริ่มอยู่สภาวะเครียด

จากการที่ดินมีความชื้นลดลงเหลือ 41-60 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชืื่อนั้นสามารถทนต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ดีกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ปลูกเชื้อ โดยพิจารณาจากค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชืื่อนั้นมีค่ามากกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ

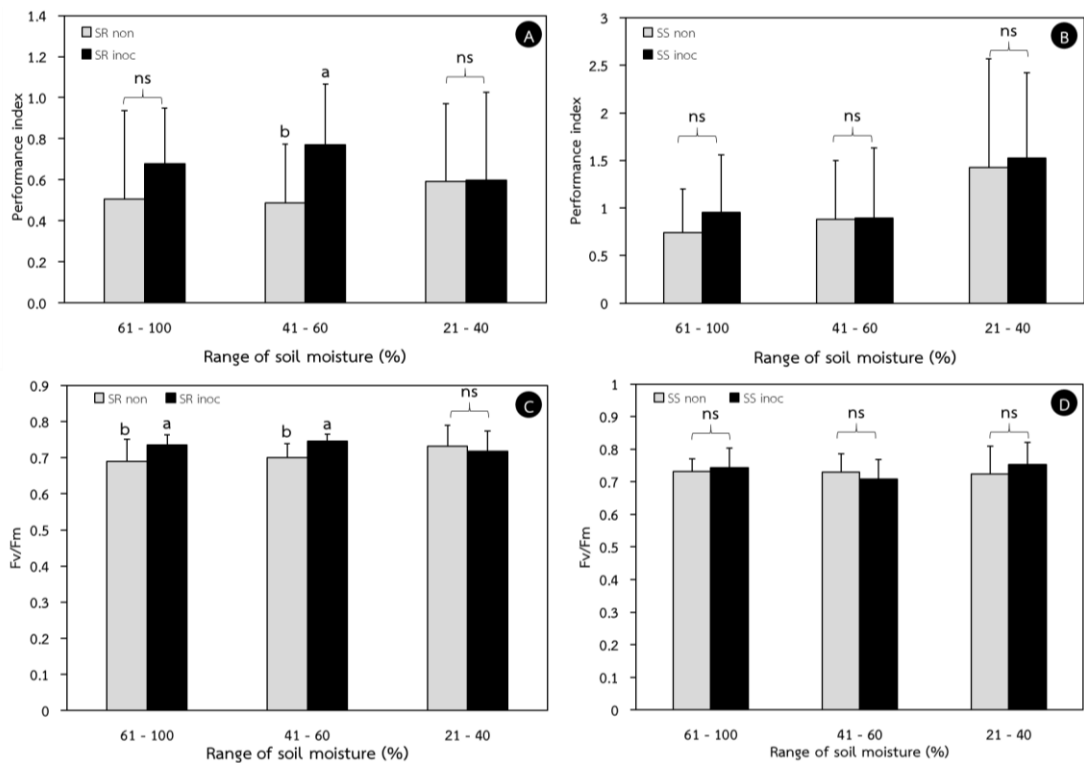


Figure 4 Performance index and Fv/Fm of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B) under different soil moisture content; vertical lines above the bars indicate standard deviations, while different letters above bars in each soil moisture range indicate significant difference (t-test); ns= non-significant different; SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีค่าเท่ากับ 15.41 และ 10.64 กรัมตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักแห้งของกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีค่าเท่ากับ 7.90 และ 4.48 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ากล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อมีน้ำหนักแห้งมากกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ปลูกเชื้อ

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีน้ำหนักแห้งมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 5) แสดงให้เห็นว่าการมีเห็ดเผาะหนึ่งเป็นเอนโดไมคอร์ไรซาที่ราก ช่วยส่งผลให้มีการเติบโตทางด้านน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewgrajang *et al.* (2013, 2019)

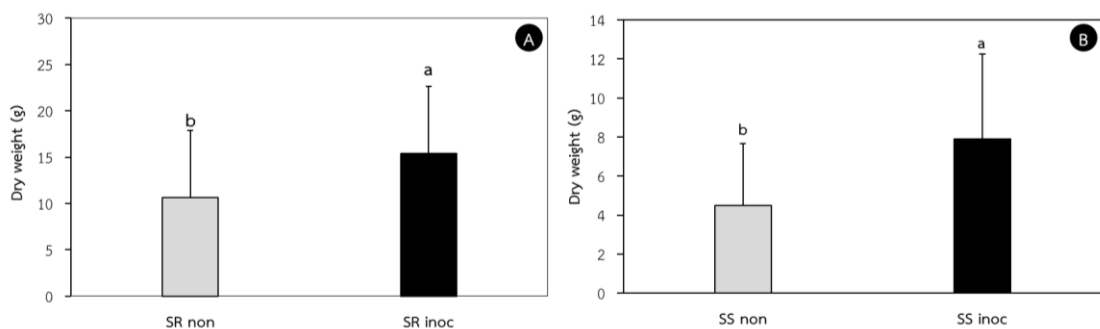


Figure 5 Dry weight of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B) under different soil moisture content; vertical lines above the bars indicate standard deviations, with the same letter on the bars indicate a statistically insignificant difference (t-test); SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากล้าไม้พะยอมและรังที่ปลูกเชื้อมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอนโดไมคอร์ไรซา เท่ากับ 55.96 และ 39.60 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ พบว่าการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนึ่งให้กับกล้าไม้พะยอมและรัง สามารถช่วยเพิ่มความทนแล้งให้กับกล้าไม้ได้ โดยกล้าไม้พะยอมจะแสดงผลชัดเจนจากค่าพื้นที่ผิวใบ น้ำหนักแห้ง ค่าดัชนีการทำงานของ

คลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ ซึ่งพบว่าเมื่อดินมีความชื้นลดลง กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อมีค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ มากกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับกล้าไม้รังนั้นแสดงผลได้ชัดเจนจากค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง และน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีค่าดังกล่าวมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้อเมื่อนำมาทดสอบความทนแล้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายไตรเทพ เจริญพานิชสันติ ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงานกปร.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้ “โครงการความหลากหลายของเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาและการนำเอคโตไมคอร์ไรซาไปใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกฟื้นฟูป่าปีงบประมาณ 2562-2563”

REFERENCES

- Aboukarima, A.M., M.F. Zayed, M. Minyawi, H.A. Elsoury and H.H.H. Tarabye. 2017. Image analysis-based system for estimating cotton leaf area. **Asian Res. J. Agric.** 5(1): 1-8.
- Agerer, R. 1997. **Colour Atlas of Ectomycorrhizae**. Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger GmbH, Germany.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. ACIAR Monograph 32. Pirie Printers, Canberra.
- Duangkae, K. 2002. Mycorrhiza: diversity and development, pp. 187-252. *In* **Proceedings of Biodiversity of Forest Resources and Wildlife “Progress Report and Activities in 2005”**. August 22-28, 2002. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)
- Duangkae, K., W. Himaman and C. Ayawong. 2002. **Ectomycorrhiza to Control Damping off Disease of Eucalyptus Seedlings**. Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok.
- Kaewgrajang, T. 2008. **Growth and Water Use of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings Associated with *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martin & A.J.S. Whalley as Ectomycorrhiza**. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- Kaewgrajang, T., U. Sangwanit, K. Iwase, M. Kodama and M. Yamato. 2013. Effects of ectomycorrhizal fungus *Astraeus odoratus* on *Dipterocarpus alatus* seedlings. **J. Trop. For. Sci.** 25(2): 200-205.
- Kaewgrajang, T., B. Sakolrak, U. Sangwanit and J. Wongprom. 2015. Growth responses of *Shorea roxburghii* G. Don seedlings associated with *Astraeus odoratus* ectomycorrhizal mushroom, pp. 66-69. *In* **Forest Research: Forest Annual Conference 2015**. April 22-26, 2015. Faculty of Forestry Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Kaewgrajang, T., B. Sakolrak and U. Sangwanit. 2019. Growth response of *Dipterocarpus tuberculatus* and

- Shorea roxburghii* seedlings to *Astraeus odoratus*. **Environ. Nat. Resour. J.** 17(3): 80-88.
- Kipfer, T., T. Wohlgemuth, M.G.A. van der Heijden, J. Ghazoul and S. Egli. 2012. Growth response of drought-stressed *Pinus sylvestris* seedlings to single- and multi-species inoculation with ectomycorrhizal fungi. **PLoS One** 7(4): e35275. doi:10.1371/journal.pone.0035275.
- Kittibhorn, A., P. Cherdchai, S. Nuttika, M. Wiyada and S. Sirirath. 2012. Astraeodoric Acids A-D: new lanostane triterpenes from edible mushroom *Astraeus odoratus* and their anti-mycobacterium tuberculosis H37Ra and cytotoxic activity. **J. Agric. Food Chem.** 60: 9834-9841.
- Nune, J.A.D., J.S., Serrano, J.A.R. Barreal and J.A.S.O. Gonzalez. 2006. The influence of mycorrhization with *Tuber melanosporum* in the afforestation of a Mediterranean site with *Quercus ilex* and *Quercus faginea*. **For. Ecol. Manag.** 231: 226 - 233.
- Omari, A., H. Toda and D. Choi. 2020. Efficacy of soil moisture conditions on the formation of ectomycorrhizal colonization and ¹³⁷Cs absorption. **Landsc. Ecol. Eng.** 16: 87-95.
- RStudio Team. 2020. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.Rstudio.com/>.
- Sangtietan, T. and U. Sangwanit. 1994. Growth of *Dipterocarpus alatus* Roxb. seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. **J. For.** 13: 22-28. (in Thai)
- Sangwanit, U., P. Suwannarit, A. Payappanon, J. Luangsa-ard, A. Chandrasrikul and B. Sakolrak. 2013. **List of Mushrooms**. Biodiversity-Based Economy Development Office (Public Organization), Bangkok. (in Thai)
- Smith, S.E. and D.J. Read. 2010. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press, New York.
- Suwanwong, S. 2019. **Plant Responses Under Environmental Stress**. Wanida Press, Nonthaburi.
- Turjaman, M., Y. Tamai, H. Segah, S.H. Limin, J.Y. Cha, M. Osaki and K. Tawaraya. 2005. Inoculation with the ectomycorrhizal fungi *Pisolithus arhizus* and *Scleroderma* sp. Improves early growth of *Shorea pinanga* nursery seedling. **NEW FOREST** 30: 67-73.
- Wanroon, R. 2019. **Selection of Ectomycorrhizal Fungi to Improve Salinity Tolerance and Growth in Eucalyptus Seedlings**. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Yorou N.S., N.A. Kone, M. Guissou, A.K. Guelly,
D.L. Maba, M.R.M. Ekue and A.D.
Kesel. 2014. Biodiversity and
sustainable use of wild edible fungi
in the Sudanian centre of endemism:

a plea for Valorisation. p. 241-271. In
A.M. Bâ, K.L. McGuire and A.G.
Diédhiou, eds. **Ectomycorrhizal
Symbioses in Tropical and Neotropical
Forests**. CRC Press, New York.
