รายงานโครงการวิจัย

การศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการเพิ่มธาตุอาหารหลักสำหรับพืชเศรษฐกิจสกุลส้ม

Study on ectomycorrhizal fungi to macro-nutrient enhancement for economic citrus plants

หัวหน้าโครงการ
นิศารัตน์ ทวีนุต
Nisarat Thaweenut

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

รายงานโครงการวิจัย

การศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการเพิ่มธาตุอาหารหลักสำหรับพืชเศรษฐกิจสกุลส้ม

Study on ectomycorrhizal fungi to macro-nutrient enhancement for economic citrus plants

หัวหน้าโครงการ
นิศารัตน์ ทวีนุต
Nisarat Thaweenut

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	4
ผู้วิจัย	5
บทนำ	6
บทคัดย่อ	9
ระเบียบวิธีการวิจัย	10
ผลการทดลองและอภิปราย	13
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	26
บรรณานุกรม	26

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2561 - 2564

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ พนักงานราชการ ผู้ดูแลแปลง ที่ช่วยในการปฏิบัติงาน เก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ให้งานนี้ดำเนินไปจนแล้วเสร็จ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเกิดประโยชน์ และผู้สนใจสามารถรับองค์ความรู้เพื่อไปต่อยอดได้

คณะผู้วิจัย

กรมวิชาการเกษตร

ผู้วิจัย

นิศารัตน์ ทวีนุต
Nisat Thaweenut

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต
Sirilak Kaewsuralikhit

ประไพ ทองระอา
Praphai Thongra-ar

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

พืชสกุลส้ม (*Citrus*) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคภายในประเทศ และยังมีผลผลิตส่งออกเป็นจำนวนมาก (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ในระบบการปลูกพืชสกุลส้ม มีความต้องการใช้ปัจจัยการผลิตเช่นปุ๋ยประเภทต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพมากที่สุด ในปัจจุบันได้มีการปลูกพืชเชิงอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นการผลิตพืชให้ได้อาหารที่ปลอดภัยและรักษาสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้การใช้ปุ๋ยชีวภาพเอ็คโตไมคอร์ไรซาเป็นปัจจัยการผลิตหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับการผลิตพืชสกุลส้ม

ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhizal fungi) เป็นกลุ่มราที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของต้นไม้ได้หลายชนิด เนื่องจากเป็นราที่อยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยจึงมีความสามารถในการเพิ่มพื้นที่ผิวรากพืช ทำให้รากสามารถดูดน้ำและธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุอาหารหลักเช่นไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยละลายและดูดธาตุอาหารจากหินแร่ที่สลายตัวยาก รวมถึงอินทรียวัตถุและวัสดุอินทรีย์ที่ยังสลายตัวไม่หมด นอกจากนี้ราเอ็คโตไมคอร์ไรซายังสามารถป้องกันโรคพืชที่มีสาเหตุมาจากเชื้อโรคในดินได้อีกด้วย ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาพบอยู่มากมายในป่าไม้ บ่อยครั้งจะพบในลักษณะเป็นดอกเห็ดขึ้นอยู่บริเวณโคนต้นไม้ เช่น เห็ดตับเต่า (*Phlebopus* sp.) เห็ดถ่าน (*Russula* sp.) หรือบางชนิดมีโครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน (truffle) เช่น เห็ดเผาะ (*Astraeus* sp.) เป็นต้น ได้มีรายงานการสำรวจและรวบรวมราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ประโยชน์กับไม้ผลและไม้ยืนต้น (ออมทรัพย์ และคณะ, 2544) และพบว่าราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสามารถอยู่ร่วมกับไม้ผลได้ เช่น ลำไย (Zang *et al*., 1999) มะม่วง (ออมทรัพย์ และคณะ, 2544; สุภาพร และคณะ, 2548) และส้มโอ (Pham *et al*., 2012) แต่ยังคงไม่มีการนำไปใช้ได้กับพืชเศรษฐกิจ

จากการทดสอบประสิทธิภาพและกลไกในการใช้ธาตุไนโตรเจนของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาพบว่า ราสามารถใช้ธาตุไนโตรเจนในดินได้ทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจน (Müller *et al.,* 2007; Treseder *et al.*, 2008; Pena and Polle, 2014; Deckmyn *et al.*, 2014) ในรูปอนินทรีย์ราสามารถดูดใช้ในรูป NH_4^+ และ NO_3^- Kohzu และคณะ (2000) ได้ทดสอบการเคลื่อนที่ของอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ของราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Suillus* sp. พบว่า รานี้สามารถเคลื่อนย้ายไนโตรเจนไปสู่พืชอาศัยได้ และเช่นเดียวกัน Jentschke และคณะ (2001) พบราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Paxillus involutus* มีความสามารถในการเคลื่อนย้าย ไนโตรเจน รวมไปถึง ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ให้แก่ ต้นกล้าสน นอกจากนี้ Corratgé และคณะ (2007) ก็พบว่า ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Hebeloma cylindrosporum* มีระบบการเคลื่อนย้ายและดูด K^+ ให้แก่ไม้ยืนต้นได้ Alves และคณะ (2010) ได้ใช้ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Pisolithus* sp. มาทดสอบการละลายของหิน alkaline breccia และ granite ซึ่งเป็นหินที่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมพบว่า ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้โดยใช้แหล่งฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจากหิน นอกจากนั้นมีรายงานว่า สารประกอบอินทรีย์ที่มีบทบาทในการทำให้ฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์เปลี่ยนเป็นประโยชน์ได้ เช่น กรดออกซาลิก (Plassard and Dell, 2010; Plassard *et al.* 2011) และพบว่า ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาหลายสกุล *Paxillus, Suillus, Rhizopogon, Cortinarius, Lactarius, Piloderma* และ *Pisolithus* (Arvieu *et al*., 2003) สามารถสร้างกรดออกซาลิกได้ มีรายงานว่าในเขตร้อน เช่น ทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะพบราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในพืชวงศ์ยางนา (Dipterocarpaceae) และพืชตระกูลถั่วในวงศ์ย่อย Caesalpinioideae (Smith and Read, 1997) ในประเทศไทย มีการศึกษาความหลากหลายของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาที่

กรมวิชาการเกษตร

ส่งเสริมการเจริญเติบโตให้กับไม้ป่าเป็นส่วนใหญ่ (จินตนาและศิริวิภา, 2545; สุนัดดา, 2551; บารมี และคณะ, 2554; ณัฐวุฒิ และคณะ, 2558; Phosri *et al.*, 2102; Kaewgrajang *et al*., 2014) Kaewgrajang และคณะ (2013) ได้ทดลองนำราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Astraeus odoratus* มาใส่กับกล้าไม้วงศ์ยางนา 2 วิธี คือ การใช้สารแขวนลอยสปอร์และการใช้เส้นใยจากอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่า การปลูกเชื้อทั้งสองวิธีสามารถทำให้ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเจริญเติบโตได้ และอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการสร้างราเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการทดสอบการเกิดเอ็คโตไมคอร์ไรซาของเห็ดเผาะสิรินธรในกล้าไม้ยางนา โดยใส่หัวเชื้อที่เป็นสารแขวนลอยใกล้ ๆ กับรากของกล้าไม้อายุ 1 เดือน เมื่ออายุครบ 6 เดือน พบว่ารากของกล้าไม้ยางนา มีสีน้ำตาลดำ มีการสร้างเส้นใยออกมานอกราก และมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นดีกว่ากล้าไม้ที่ไม่ใส่เชื้อ (ธานิตา และคณะ, 2558) ส่วน Kumla และคณะ (2014) ได้ศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาของไม้ยืนต้นทางภาคเหนือของประเทศไทย สามารถแยกเชื้อและระบุชื่อได้ 4 ชนิด ได้แก่ *Astraeus odorata, Phlebopus portentosus, Pisolithus albus* และ *Scleroderma sinnamariense* ในส่วนการสำรวจและรวบรวมราเอ็คโตไมคอร์ไรซาของไม้ผลนั้น (ออมทรัพย์ และคณะ, 2544) พบว่าเห็ดตับเต่าสามารถเกิดเอ็คโตไมคอร์ไรซากับมะม่วงและมะกอกน้ำได้ และยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้ามะม่วงและมะกอกน้ำ มากกว่าต้นกล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ มีการศึกษาการใช้ราเอ็คโตไมคอร์ไรซามาใส่กับไม้ผลบางชนิด ปานทิพย์ และ ประภาพร (2552) ได้นำราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Boletus colossus* จำนวน 3 ไอโซเลท มาปลูกเชื้อกับต้นกล้าฝรั่ง Okinawa พบว่า *B. colossus* TR1 ส่งผลให้ต้นกล้าฝรั่งมีความสูงและจำนวนใบที่แตกใหม่เฉลี่ยสูงสุด ประภาพร และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลของราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *B. colossus* ต่อกิ่งใบของมะละกอพันธุ์เม็กซิโก-เกษตร พบว่าการใส่ *B. colossus* มีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและทรงพุ่ม ความสูงลำต้น จำนวนใบที่เกิดใหม่ และพื้นที่ใบของต้นมะละกอเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใส่ *B. colossus* ปริมาณ 6 10 และ 14 กรัมต่อกิ่งตอนชมพู่พันธุ์เพชรสายรุ้ง พบว่าปริมาณที่ใส่ให้ผลไม่แตกต่างกันต่อมวลสดราก จำนวนราก และพื้นที่รากของกิ่งตอน แต่การใส่รา *B. colossus* ที่ 10 กรัม ให้ผลเฉลี่ยของมวลสดรากและพื้นที่รากสูงที่สุด ในขณะที่การใส่รา *B. colossus* 14 กรัม ให้จำนวนรากรวมเฉลี่ยมากที่สุด (ประภาพร และคณะ, 2555) นอกจากนี้ในประเทศเวียดนามมีรายงานว่า พบราเอ็คโตไมคอร์ไรซา *Phlebopus spongiosus* สามารถเกิดเอ็คโตไมคอร์ไรซากับส้มโอ โดยแสดงโครงสร้างเส้นใยเฉพาะของราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ที่เรียกว่า mantle และ hartig net (Pham *et al.*, 2012)

โครงการวิจัยได้มีการศึกษาและต่อยอดองค์ความรู้เกี่ยวกับราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารหลักสำหรับไม้ผลในสกุลส้ม โดยได้ทำการทดสอบราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเพื่อให้ได้ชนิดที่เหมาะสมสำหรับพืชสกุลส้ม และหลังจากนั้นจะมีการทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตเพื่อให้ใช้ได้จริง และส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชสกุลส้มสู่เกษตรกรต่อไป (แสดงตาม Flow chart)

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัย : การศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการเพิ่มธาตุอาหารหลักสำหรับพืชเศรษฐกิจสกุลส้ม

ทดสอบการอยู่ร่วมกับรากพืชสกุลส้มแบบเอ็คโตไมคอร์ไรซา

การทดลองที่ 1 การศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการช่วยดูดธาตุอาหารไนโตรเจนสำหรับพืชสกุลส้ม

การทดลองที่ 2 การศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการช่วยดูดธาตุอาหารฟอสฟอรัสสำหรับพืชสกุลส้ม

การทดลองที่ 3 การศึกษาราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการช่วยดูดธาตุอาหารโพแทสเซียมสำหรับพืชสกุลส้ม

ทดสอบการใช้แหล่งธาตุอาหารหลักของราเอ็คโตไมคอร์ไรซา

การทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในด้านการช่วยดูดธาตุอาหารไนโตรเจนสำหรับพืชสกุลส้ม

การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในด้านการช่วยดูดธาตุอาหารฟอสฟอรัสสำหรับพืชสกุลส้ม

การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในด้านการช่วยดูดธาตุอาหารโพแทสเซียมสำหรับพืชสกุลส้ม

ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการใช้ธาตุหลักต่อการเจริญเติบโตของพืชสกุลส้มในแปลงทดลองเกษตรกร

การทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในด้านการช่วยดูดธาตุอาหารไนโตรเจนสำหรับพืชสกุลส้ม ในแปลงทดลอง

การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในด้านการช่วยดูดธาตุอาหารฟอสฟอรัสสำหรับพืชสกุลส้ม ในแปลงทดลอง

การทดลองที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในด้านการช่วยดูดธาตุอาหารโพแทสเซียมสำหรับพืชสกุลส้ม ในแปลงทดลอง

ได้องค์ความรู้ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารหลักโดยปุ๋ยชีวภาพเอ็คโตไมคอร์ไรซา

: ได้รา *Phlebopus* sp. ที่มีความจำเพาะสำหรับพืชส้มโอ และมีประสิทธิภาพในด้านการส่งเสริมธาตุอาหารหลัก เพื่อเป็นต้นแบบการนำไปใช้ในการผลิตต้นกล้าส้มโอให้มีคุณภาพ

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

พืชสกุลส้มเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในระบบการปลูกพืชสกุลส้ม มีความต้องการใช้ปัจจัยการผลิตเช่นปุ๋ยประเภทต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพมากที่สุด ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเป็นกลุ่มราที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของต้นไม้ได้หลายชนิด พบอยู่มากมายในป่าไม้ บ่อยครั้งจะพบในลักษณะเป็นดอกเห็ดขึ้นอยู่บริเวณโคนต้นไม้ ซึ่งสามารถทำให้รากดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดียิ่งขึ้น ได้มีการศึกษาวิจัยและต่อยอดองค์ความรู้เกี่ยวกับราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเพื่อใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารหลักสำหรับไม้ผลในสกุลส้ม โดยได้ทำการทดสอบราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเพื่อให้ได้ชนิดที่เหมาะสมสำหรับพืชสกุลส้ม ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการใช้ธาตุอาหารหลักในห้องปฏิบัติการ และแปลงทดลอง จากการทดลองพบว่า ราสกุล *Phlebopus* สามารถเกิดการอยู่อาศัยแบบเอ็คโตไมคอร์ไรซากับรากส้มโอ และมีประสิทธิภาพในการใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ รวมถึงมีความสามารถในการย่อยละลายฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในรูปที่ละลายยากนำมาใช้ในการเจริญเติบโตบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้

คำสำคัญ

ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา พืชสกุลส้ม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

Abstracts

Citrus species are important economic plants. In these crop productions, they are required fertilizers such as chemical fertilizer, organic fertilizer and biological fertilizer for increasing quantity and quality products. Ectomycorrhizal fungi are microorganisms that were applied to be bio-fertilizer for promoting nutrition and survival of plants. They are often found in mushroom form and can grow under the trees in the forests. The aim of this study is to examine specific ectomycorrizal fungal association with citrus species and its efficiency to increase plant macro nutrients assimilation. The in vitro association found that *Phlebopus* sp. could colonize as ectomycorrhizal type with root of *Citrus maxima*. Also, *Phlebopus* sp. could use organic and inorganic nitrogen as N-source and have ability to mobilize insoluble mineral P and K.

Key words

Ectomycorrhizal fungi, *Citrus*, Nitrogen, Phosphorus, Potassium

กรมวิชาการเกษตร

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

ทำการทดลอง ณ กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กรมวิชาการเกษตร และแปลงทดลองเกษตรกร จังหวัดชัยภูมิ นครนายก และสระบุรี มีระยะเวลาการดำเนินงาน 4 ปี ตั้งแต่ ปี 2561 -2564 โดยมีขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ทดสอบการอยู่ร่วมกับรากพืชสกุลส้มแบบเอ็คโตไมคอร์ไรซา

เตรียมเมล็ดพืชสกุลส้ม ได้แก่ ส้มพันธุ์ Rangpur lime ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง และมะนาวพันธุ์แป้นเพชรบุรี อย่างละ 100 เมล็ด ฆ่าเชื้อที่ผิวเมล็ดด้วยสารละลายคลอร็อกซ์ 10% และล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 5 ครั้ง จากนั้นนำไปเพาะในวัสดุปลูกที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ในถาดเพาะ เมื่อต้นกล้าอายุ 6 สัปดาห์ ย้ายปลูกลงในถ้วยเพาะ

เลี้ยงราสกุล *Phlebopus* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MMN (Modified Melin Norkans medium) นาน 2 สัปดาห์ ตัดชิ้นอาหารที่มีเส้นใยราเจริญอยู่เป็นชิ้นวงกลม ขนาด 4 มม. เลี้ยงเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว เป็นเวลา 3 สัปดาห์ แล้วนำเส้นใยราไปใส่ร่วมกับต้นกล้าพืชที่ปลูกเตรียมไว้ในถ้วยเพาะ เมื่อครบกำหนด 15 สัปดาห์ หลังใส่เชื้อ ตรวจสอบการอยู่อาศัยของราในรากพืช โดยการตัดรากตามขวาง ด้วยวิธี Hand-section แล้วนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์

2. ทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งธาตุอาหารหลักของราเอ็คโตไมคอร์ไรซา

2.1 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งไนโตรเจนของรา *Phlebopus* sp.

2.1.1 ทดสอบการใช้แหล่งไนโตรเจนของรา *Phlebopus* sp. **ในอาหารเลี้ยงเชื้อ**

เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (Potato Dextrose Agar) จากนั้นตัดชิ้นอาหารที่มีราเจริญเติบโต ขนาด 4 มม. เลี้ยงในอาหารชนิดเหลวที่มีการใส่แหล่งไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ตามกรรมวิธีทดลอง เมื่อครบ 30 วัน ตรวจสอบความสามารถในการใช้แหล่งไนโตรเจนของรา โดยการชั่งน้ำหนักของเส้นใยราที่เจริญอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ 16 กรรมวิธี ดังนี้

1. ไม่ใส่แหล่งไนโตรเจน
2. ใส่ไนโตรเจนในรูป $Ca(NO_3)_2$ $4H_2O$
3. ใส่ไนโตรเจนในรูป $(NH_4)_2SO_4$
4. ใส่ไนโตรเจนในรูป Aspartic acid
5. ใส่ไนโตรเจนในรูป Glutamic acid
6. ใส่ไนโตรเจนในรูป Arginine
7. ใส่ไนโตรเจนในรูป Lysine
8. ใส่ไนโตรเจนในรูป Alanine
9. ใส่ไนโตรเจนในรูป Asparagine
10. ใส่ไนโตรเจนในรูป Cystine
11. ใส่ไนโตรเจนในรูป Glutamine
12. ใส่ไนโตรเจนในรูป Gycine
13. ใส่ไนโตรเจนในรูป Phenylalanine
14. ใส่ไนโตรเจนในรูป Isoleucine

กรมวิชาการเกษตร

15. ใส่ไนโตรเจนในรูป Serine
16. ใส่ไนโตรเจนในรูป valine

2.1.2 ทดสอบการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นกล้าส้มโอที่มีรา *Phlebopus* sp. **อยู่ร่วมกับราก**

2.1.2.1 เพาะต้นกล้าส้มโอจากเมล็ด ให้ได้อายุ 6 สัปดาห์ เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB (Potato Dextrose Broth) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นนำเส้นใยราที่เลี้ยงได้ไปใส่กับต้นกล้าส้มโอในกรรมวิธีใส่เชื้อ เปรียบเทียบกับการไม่ใส่เชื้อ ในระหว่างการทดลองมีการใส่ธาตุอาหารไนโตรเจนให้กับพืชในรูป $(NH_4)_2SO_4$ เมื่อต้นส้มโออายุครบ 12 สัปดาห์หลังใส่เชื้อ เก็บข้อมูลน้ำหนักสดใบและน้ำหนักแห้งใบ นำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี *t*-test

2.1.2.2 เพาะต้นกล้าส้มโอจากเมล็ด ให้ได้อายุ 6 สัปดาห์ เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นนำเส้นใยราไปใส่กับต้นกล้าส้มโอที่มีการใส่แหล่งไนโตรเจนตามกรรมวิธี เมื่อครบ 12 สัปดาห์หลังใส่เชื้อ ชั่งน้ำหนักสดใบและน้ำหนักแห้งใบ วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT
วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 6 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ดังนี้

1. ไม่ใส่แหล่งไนโตรเจน
2. ใส่ไนโตรเจนในรูป $Ca(NO_3)_2$ $4H_2O$
3. ใส่ไนโตรเจนในรูป $(NH_4)_2SO_4$
4. ใส่ไนโตรเจนในรูป Glutamic acid
5. ใส่ไนโตรเจนในรูป Arginine
6. ใส่ไนโตรเจนในรูป Alanine
7. ใส่ไนโตรเจนในรูป Asparagine
8. ใส่ไนโตรเจนในรูป Glutamine

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. **ในการใช้แหล่งฟอสฟอรัสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ**

เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นเจาะอาหารที่มีเส้นใยเจริญอยู่ขนาด 4 มม. นำไปบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแหล่งฟอสฟอรัสในรูปแคลเซียมฟอสเฟต และหินฟอสเฟต วัดการเจริญเติบโตและขนาดวงใสรอบโคโลนีทุก 2 วัน

2.3 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. **ในการใช้แหล่งฟอสฟอรัสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ**

เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นเจาะอาหารที่มีเส้นใยเจริญอยู่ขนาด 4 มม. นำไปบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแหล่งโพแทสเซียมรูปหินเฟลสปาร์ วัดการเจริญเติบโตและขนาดวงใสรอบโคโลนีทุก 2 วัน

กรมวิชาการเกษตร

3. ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการใช้ธาตุหลักต่อการเจริญเติบโตของพืชสกุลส้มในแปลงทดลองเกษตรกร

3.1 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการส่งเสริมการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของส้มโอในแปลงทดลองเกษตรกร จ.ชัยภูมิ

วางแผนการทดลองแบบ 2x4 factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ การใส่และไม่ใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ปัจจัยที่ 2 คือ การใส่แหล่งไนโตรเจน ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ และปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง

เตรียมแปลงเกษตรกร จังหวัดชัยภูมิ ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า ขุดหลุมปลูกขนาดความกว้าง 0.5 เมตร และมีระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว 5.5 x 5.5 เมตร เตรียมกิ่งตอนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ขนาด 90 ซม. ปลูกในกระถางขนาด 11 นิ้ว ที่มีการใส่และไม่ใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาตามกรรมวิธี เมื่ออายุครบ 1 ปี ย้ายปลูกลงในแปลง ในระหว่างการทดลองมีการให้น้ำและสารกำจัดศัตรูพืชตามความเหมาะสม และใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชเหมือนกันทั้งการทดลอง

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 10 ซม. จากโคนต้น สุ่มเก็บตัวอย่างใบพืชวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และความชื้น นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการส่งเสริมการใช้ธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของส้มโอในแปลงทดลองเกษตรกร จ. นครนายก

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ การใส่และไม่ใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา ปัจจัยที่ 2 คือ การใส่แหล่งฟอสฟอรัส ได้แก่ ไม่ใส่ ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต และใส่หินฟอสเฟต

เตรียมแปลงเกษตรกร จังหวัดนครนายก ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า ขุดหลุมขนาดความกว้าง 0.5 เมตร และมีระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว 5.5 x 5.5 เมตร เตรียมกิ่งตอนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ขนาด 90 ซม. ปลูกในกระถางขนาด 11 นิ้ว ที่มีการใส่และไม่ใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาตามกรรมวิธี เมื่ออายุครบ 1 ปี ย้ายปลูกลงในแปลง ในระหว่างการทดลองมีการให้น้ำและสารกำจัดศัตรูพืชตามความเหมาะสม และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยโพแทชเหมือนกันทั้งการทดลอง

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 10 ซม. จากโคนต้น สุ่มเก็บตัวอย่างใบพืชวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และความชื้น นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการส่งเสริมการใช้ธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของส้มโอในแปลงทดลองเกษตรกร จ. สระบุรี

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ การใส่และไม่ใส่รา เอ็คโตไมคอร์ไรซา ปัจจัยที่ 2 คือ การใส่แหล่งโพแทสเซียม ได้แก่ ไม่ใส่ ใส่ปุ๋ย 0-0-60 และใส่หินเฟลสปาร์

เตรียมแปลงเกษตรกร จังหวัดนครนายกสระบุรี ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า ขุดหลุมขนาดความกว้าง 0.5 เมตร และมีระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว 5.5 x 5.5 เมตร เตรียมกิ่งตอนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ขนาด 90 ซม. ปลูกในกระถางขนาด 11 นิ้ว ที่มีการใส่และไม่ใส่รา เอ็คโตไมคอร์ไรซาตามกรรมวิธี เมื่ออายุครบ 1 ปี ย้ายปลูกลงในแปลง ในระหว่างการทดลองมีการให้น้ำและสารกำจัดศัตรูพืชตามความเหมาะสม และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตเหมือนกันทั้งการทดลอง

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 10 ซม. จากโคนต้น สุ่มเก็บตัวอย่างใบพืชวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และความชื้น นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ผลการทดลองและอภิปราย (Results and Discussion)

1. ทดสอบการอยู่ร่วมกับรากพืชสกุลส้มแบบเอ็คโตไมคอร์ไรซา

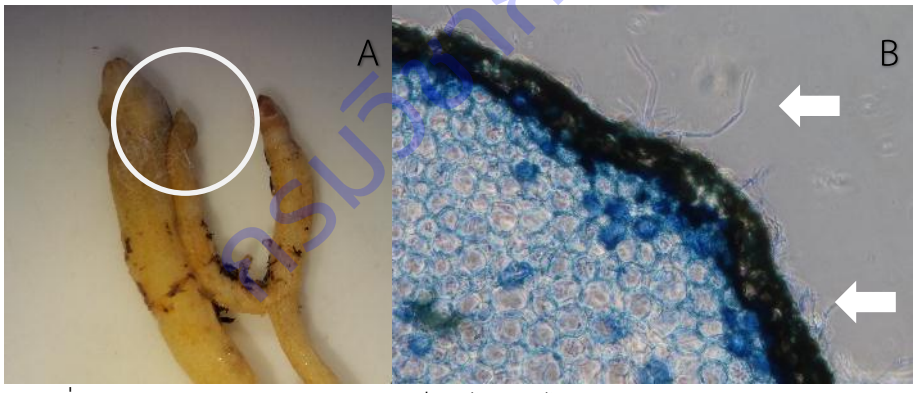
จากการเลี้ยงราสกุล *Phlebopus* sp. (ภาพที่ 1) แล้วนำไปใส่ร่วมกับการปลูกต้น ส้ม ส้มโอ และมะนาว (ภาพที่ 3) เมื่อครบกำหนด 15 สัปดาห์หลังการใส่เชื้อ ตรวจสอบการอยู่อาศัยของราร่วมกับรากพืช พบว่า รา *Phlebopus* sp. เกิดเส้นใยของราหุ้มอยู่บาง ๆ บริเวณผิวรากของต้นส้มโอ (ภาพที่ 4A) เส้นใยนี้เรียกว่า ชั้นแมนเทิล เมื่อตรวจสอบลักษณะของรากโดยตัดรากตามขวางจะเห็นเส้นใยย้อมติดสีน้ำเงินเกิดขึ้นบาง ๆ บริเวณผิวราก ซึ่งเป็นลักษณะของการอยู่ร่วมกับรากแบบเอ็คโตไมคอร์ไรซา (ภาพที่ 4B) เช่นเดียวกับการทดลองของ Pham และคณะ (2012) พบว่าเมื่อใส่เชื้อ *Phlebopus spongiosus* กับรากส้มโอทำให้เกิดการสร้างชั้นแมนเทิลบางๆ บริเวณรอบราก ซึ่งอาจจะแตกต่างจากเชื้อเอ็คโตไมคอร์ไรซาที่พบได้จากธรรมชาติที่จะสามารถตรวจเห็นชั้นแมนเทิลที่หนากว่า มีการศึกษาการอยู่ร่วมกันของราสกุล *Phlebopus* spp. กับพืชหลายชนิด เช่น *Phlebopus portentosus* เป็นราเอ็คโตไมคอร์ไรซาที่อยู่ร่วมกับรากต้นสน (Sanmee *et al*., 2010) *Phlebopus beniensis* กับพืชตระกูลถั่ว *Hymenaea courbaril* (Miller et al. 2000) และ *Phlebopus marginatus* กับยูคาลิปตัส (Bougher, 1995) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์เกษตร

ภาพที่ 1 รา *Phlebopus* sp. บนอาหาร MMN

ภาพที่ 2 ต้นกล้าพืชสกุลส้ม : ส้ม, ส้มโอ, มะนาว

ภาพที่ 3 เพาะเชื้อเอ็คโตไมคอร์ไรซาให้กับต้นกล้าพืชสกุลส้ม



ภาพที่ 4 ลักษณะการอยู่ร่วมกันแบบเอ็คโตไมคอร์ไรซาของส้มโอและ รา *Phlebopus* sp.

A เกิดลักษณะเส้นใยบางๆ ห่อหุ้มปลายราก (วงกลม)

B เกิดลักษณะเส้นใยชั้นแมนเทิลบางๆ รอบราก (ลูกศร)

2. ทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งธาตุอาหารหลักของราเอ็คโตไมคอร์ไรซา

2.1 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งไนโตรเจนของรา *Phlebopus* sp.

2.1.1 ทดสอบการใช้แหล่งไนโตรเจนของรา *Phlebopus* sp. **ในอาหารเลี้ยงเชื้อ**

จากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนของรา *Phlebopus* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าในอาหารที่ใส่แหล่งในโตรเจนรูปไนเตรต Glutamic acid Asparagine และ Serine มีน้ำหนักของเส้นใยรามากที่สุดคือ 44.77 39.47 43.19 และ 42.04 กรัม ตามลำดับ และยังสามารถใช้แหล่งไนโตรเจนในรูปกรดอะมิโนได้อีกหลายชนิด โดยมีน้ำหนักแห้งมากกว่าการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีการใส่ไนโตรเจน (ตารางที่ 1) เช่นเดียวกับรา *Hebeloma cylindrosporum* ซึ่งเป็นราเอ็คโตไมคอร์ไรซาที่อยู่ร่วมกับต้นสน เมื่อทดสอบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถใช้ Glutamine และ Asparagine เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ดีกว่าแอมโมเนียม (Wipf *et al.*, 2002) ในการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่ารา *Phlebopus* sp. สามารถใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนได้ทั้งในรูปอินทรีย์ (กรดอะมิโน) และอนินทรีย์ (ไนเตรตและแอมโมเนียม) ซึ่งแหล่งไนโตรเจนเหล่านี้พบได้ในดินธรรมชาติ ที่จะเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับราเอ็คโตไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืช ได้กักเก็บไว้ในเส้นใยที่อยู่รอบรากแล้วส่งต่อให้พืชใช้ประโยชน์ได้ต่อไป (Chalot *et al.*, 2002.)

2.1.2 ทดสอบการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของต้นกล้าส้มโอที่มีรา *Phlebopus* sp. **อยู่ร่วมกับราก**

ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนรูป $(NH_4)_2SO_4$ ของพืชร่วมกับการใส่รา *Phlebopus* sp. เปรียบเทียบกับการไม่ใส่รา พบว่าต้นส้มโอที่มีการใส่รา มีธาตุอาหารไนโตรเจนในใบ มากกว่าการไม่ใส่รา คือ 2.08% และทำให้น้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของใบ มีค่ามากกว่าการไม่ใส่ราเช่นกัน คือ 0.61 และ 1.92 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้แหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ของพืช ร่วมกับการใส่รา *Phlebopus* sp. พบว่า ต้นส้มโอที่มีการใส่ธาตุอาหารไนโตรเจน ในรูป L-Arginine L-Alanine และ L-Asparagine มีปริมาณไนโตรเจนในใบไม่แตกต่างกับการใส่ไนโตรเจนในรูป $(NH_4)_2SO_4$ คือ 1.80% 2.00% และ 1.96% ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 น้ำหนักแห้งของเส้นใยรา *Phlebopus* ที่เลี้ยงด้วยแหล่งไนโตรเจนแบบต่างๆ

แหล่งไนโตรเจน	น้ำหนักแห้งเส้นใยรา (กรัม)		pH	
ไม่ใส่	19.54	b	4.30	g
$Ca(NO_3)_2$ $4H_2O$	44.77	a	3.65	cdef
$(NH4)_2SO_4$	37.67	ab	3.45	bc
Aspartic acid	30.04	ab	3.35	ab
Glutamic acid	39.47	a	3.22	a
Arginine	29.34	ab	4.88	h
Lysine	30.37	ab	3.72	def
Alanine	35.77	ab	3.54	bcd
Asparagine	43.19	a	3.57	cde
Cystine	26.14	ab	4.40	g
Glutamine	35.04	ab	3.71	def
Gycine	31.67	ab	3.84	f
Phenylalanine	26.24	ab	3.56	bcde
Isoleucine	33.14	ab	3.78	ef
Serine	42.04	a	3.74	def
valine	33.71	ab	3.67	cdef
%C.V.	28.1		2.9	

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในใบพืช น้ำหนักใบและความชื้น ที่มีการไม่ใส่และใส่รา *Phlebopus* sp. ที่มีการใส่ไนโตรเจนในรูป $(NH_4)_2SO_4$

	ไม่ใส่รา	ใส่รา	ค่าแตกต่าง
N (%)	1.27	2.08	*
P (%)	0.19	0.21	
K (%)	1.04	1.20	
น้ำหนักแห้ง (g)	0.30	0.61	*
น้ำหนักสด (g)	0.87	1.92	*
ความชื้น (%)	62.91	68.84	

* แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD .05

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3 น้ำหนักใบพืช ความชื้น และปริมาณธาตุอาหารหลักในใบพืช เมื่อมีการปลูกพืชร่วมกับการใส่รา *Phlebopus* sp. ที่มีการใช้แหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนรูปต่าง ๆ

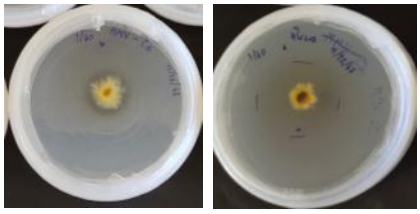
กรรมวิธี แหล่งไนโตรเจน	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความชื้น (%)	N (%)	P (%)	K (%)
ไม่ใส่ไนโตรเจน	2.20 ab	0.97 a	55.6 c	1.18 d	0.17 b	1.26 bc
$Ca(NO_3)_24H_2O$	2.44 a	0.78 b	68.0 ab	1.42 cd	0.16 b	1.35 abc
$(NH_4)_2SO_4$	1.92 bc	0.61 c	68.8 ab	2.08 a	0.21 ab	1.20 c
L-Glutamic acid	1.80 bcd	0.65 bc	64.0 b	1.53 bcd	0.16 b	1.35 abc
L-Arginine	1.76 bcd	0.57 cd	67.3 ab	1.80 abc	0.21 ab	1.39 abc
L-Alanine	1.46 cd	0.42 de	71.1 a	2.00 ab	0.24 a	1.56 a
L-Asparagine	1.33 d	0.39 e	70.8 a	1.96 ab	0.21 ab	1.48 ab
L-Glutamine	1.75 bcd	0.53 cde	69.8 a	1.43 cd	0.18 ab	1.30 abc
%C.V.	18.8	20.4	5.1	19.7	23.5	13.3

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการใช้แหล่งฟอสฟอรัสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แหล่งฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายยาก ได้แก่ แคลเซียมฟอสเฟต และหินฟอสเฟต พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อเกิดวงใสรอบโคโลนีแสดงว่ารานี้สามารถย่อยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ยาก ที่การเจริญโต 7 วันมีค่าดัชนีการละลายเท่ากับ 1.90 และ 1.55 ตามลำดับ (ภาพที่ 5 ตารางที่ 4)



B1 B2

ภาพที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ยากของรา *Phlebopus* : B1 แคลเซียมฟอสเฟต, B2 หินฟอสเฟต

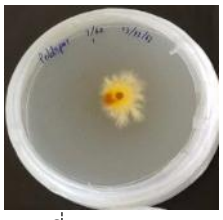
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการย่อยละลายฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายยากของรา *Phlebopus*

แหล่ง P	7 days				15 days			
	total da	colony	clear zone	SI	total da.	colony	clear zone	SI
แคลเซียมฟอสเฟต	2.88	1.54	1.34	1.90	4.51	4.24	0.28	1.07
หินฟอสเฟต	2.57	1.72	0.85	1.55	4.34	4.05	0.29	1.07

SI = Solubilization Index

2.3 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการใช้แหล่งโพแทสเซียมบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

เลี้ยงรา *Phlebopus* sp. บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แหล่งโพแทสเซียมในรูปหินเฟลด์สปาร์ พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อเกิดวงใสรอบโคโลนีแสดงว่ารานี้สามารถย่อยโพแทสเซียมในรูปที่ละลายได้ยาก ที่การเจริญโต 7 วันมีค่าดัชนีการละลายเท่ากับ 1.19 ที่ 15 วันมีค่าเท่ากับ 1.05 (ภาพที่ 6 ตารางที่ 5)



ภาพที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้โพแทสเซียมในรูปหินเฟลด์สปาร์ ของรา *Phlebopus*

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการย่อยละลายโพแทสเซียมในรูปที่ละลายยากของรา *Phlebopus*

แหล่ง K	1st 7 days				2nd 15 days			
	total da.	colony	clear zone	SI	total da.	colony	clear zone	SI
หิน เฟลด์สปาร์	3.51	2.94	0.57	1.19	6.00	5.73	0.28	1.05

SI = Solubilization Index

3. ทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการส่งเสริมการใช้ธาตุหลักต่อการเจริญเติบโตของพืชสกุลส้มในแปลงทดลองเกษตรกร

3.1 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการส่งเสริมการใช้ธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของส้มโอในแปลงทดลองเกษตรกร จ.ชัยภูมิ

จากการเตรียมแปลงเกษตรกร ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า (ตารางที่ 6) วัดการเจริญเติบโตโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า เมื่อต้นส้มโออายุ 8 เดือนหลังปลูกลงแปลง กรรมวิธีที่มีการใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุดเท่ากับ 24.7 มม. (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ค่าวิเคราะห์ดินแปลงทดลองก่อนปลูก

จังหวัด	pH	OM %	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	EC μS/cm
ชัยภูมิ	5.4	1.3	7.3	87	1416	194	41.4
นครนายก	5.3	1.2	20.4	87	530	43	34.2
สระบุรี	5.6	1.7	78.5	172	467	24	66.6

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 7 การเจริญเติบโตของต้นส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาหลังปลูกลงแปลง

กรรมวิธี		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)													
เอ็คโตไมคอร์ไรซา	แหล่งไนโตรเจน	1 เดือน		2 เดือน	3 เดือน		4 เดือน		5 เดือน		7 เดือน		8 เดือน	
ไม่ใส่	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ	14.9	ab	15.5	17.1	a	19.1	a	21.2	a	22.9	ab	23.5	ab
	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	14.0	ab	14.3	15.1	ab	17.1	ab	16.6	ab	16.9	c	18.1	b
	ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ	12.2	b	13.7	15.0	ab	16.0	ab	18.3	ab	19.9	abc	20.1	ab
	ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	14.7	ab	15.3	15.3	ab	17.2	ab	19.3	ab	21.1	abc	21.4	ab
ใส่	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ	14.9	ab	15.2	17.0	a	18.7	a	20.6	ab	22.9	ab	23.3	ab
	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	15.5	a	15.9	16.4	a	17.7	ab	19.1	ab	23.8	a	24.7	a
	ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ	12.9	ab	13.2	13.7	b	16.2	ab	16.8	ab	20.2	abc	20.8	ab
	ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	13.7	ab	14.0	14.6	ab	14.9	b	15.9	b	17.6	bc	17.0	b
	%C.V.	10.6		10.5	9.0		11.5		13.3		13.2		19.1	

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชที่ระยะ 8 เดือน หลังปลูกลงแปลง

กรรมวิธี		N	P	K		Ca		Mg	ความชื้น
เอ็คโตไมคอร์ไรซา	แหล่งไนโตรเจน	%	%	%		%		%	%
ไม่ใส่	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ	2.44	0.29	1.63	a	2.60	ab	0.22	64.4
	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	2.00	0.32	1.06	b	2.60	ab	0.22	62.7
	ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ	2.33	0.24	0.98	b	3.03	ab	0.26	63.4
	ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	2.32	0.34	0.85	b	3.40	a	0.26	62.8
ใส่	ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำ	2.49	0.25	1.10	b	2.97	ab	0.24	64.7
	ปุ๋ยไนโตรเจนน้อย+แหนแดงแห้ง	2.35	0.29	0.90	b	3.20	ab	0.26	65.4
	ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ	2.26	0.30	0.86	b	2.83	ab	0.25	63.9
	ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ+แหนแดงแห้ง	2.06	0.32	1.04	b	2.27	b	0.21	64.4
	%C.V.	12.2	32.7	18.1		16.8		13.2	3.8

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการส่งเสริมการใช้ธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของส้มโอในแปลงทดลองเกษตรกร จ. นครนายก

จากการเตรียมแปลงเกษตรกร จังหวัดนครนายก ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า (ตารางที่ 9) ปลูกต้นส้มโอลงในแปลง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางต้น พบว่า เมื่อต้นส้มโออายุ 8 เดือน หลังปลูกลงแปลง ทุกกรรมวิธีมีขนาดลำต้นไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 10) ส่วนผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชที่ระยะ 8 เดือนหลังปลูกลงแปลง กรรมวิธีที่ใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาร่วมกับการไม่ใส่ หรือใส่ปุ๋ยฟอสเฟต หรือใส่หินฟอสเฟต ทำให้โพแทสเซียมในใบมีค่ามากกว่าการไม่ใส่ราเอ็คโตไมคอร์ไรซา (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 9 ค่าวิเคราะห์ดินแปลงทดลองก่อนปลูก

จังหวัด	pH	OM	P	K	Ca	Mg	EC
		%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	μS/cm
นครนายก	5.3	1.2	20.4	87	530	43	34.2

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตของต้นส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาหลังปลูกลงแปลง

กรรมวิธี		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)						
เอ็คโตไมคอร์ไรซา	แหล่งฟอสฟอรัส	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน		7 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่	ไม่ใส่	13.43	14.12	14.23	16.07	b	18.00	23.40
	ปุ๋ยฟอสเฟต	12.95	13.11	14.03	16.72	ab	18.67	23.23
	หินฟอสเฟต	13.09	13.74	14.68	16.52	ab	17.95	22.56
ใส่	ไม่ใส่	14.23	14.64	14.60	18.97	a	18.85	24.51
	ปุ๋ยฟอสเฟต	16.13	16.35	17.21	17.70	ab	20.31	25.15
	หินฟอสเฟต	14.33	15.08	15.50	18.25	ab	19.72	26.28
	%C.V.	13.7	12.9	11.2	8.3		10.8	16.5

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 11 ผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชที่ระยะ 8 เดือน หลังปลูกลงแปลง

กรรมวิธี		N	P	K		Ca	Mg		ความชื้น
เอ็คโตไมคอร์ไรซา	แหล่งฟอสฟอรัส	%	%	%		%	%		%
ไม่ใส่	ไม่ใส่	2.24	0.21	1.33	bc	2.50	0.23	a	65.29
	ปุ๋ยฟอสเฟต	2.27	0.20	1.09	c	2.53	0.21	ab	63.28
	หินฟอสเฟต	2.28	0.17	1.87	ab	2.97	0.19	abc	62.98
ใส่	ไม่ใส่	2.43	0.18	2.33	a	2.53	0.17	bc	63.80
	ปุ๋ยฟอสเฟต	2.33	0.15	2.17	a	2.55	0.17	bc	64.57
	หินฟอสเฟต	2.25	0.18	2.20	a	2.63	0.16	c	64.90
	%C.V.	7.3	24.8	20.2		21.1	0.0		3.5

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของรา *Phlebopus* sp. ในการส่งเสริมการใช้ธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของส้มโอในแปลงทดลองเกษตรกร จ. สระบุรี

เตรียมแปลงเกษตรกร จังหวัดสระบุรี ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า (ตารางที่ 12) วัดการเจริญเติบโตโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า เมื่อต้นส้มโออายุ 8 เดือนหลังปลูกลงแปลง ทุกกรรมวิธีมีขนาดลำต้นไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 13) ส่วนผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชที่ระยะ 8 เดือนหลังปลูกลงแปลง ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันเช่นกัน (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 12 ค่าวิเคราะห์ดินแปลงทดลองก่อนปลูก

จังหวัด	pH	OM	P	K	Ca	Mg	EC
		%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	μS/cm
สระบุรี	5.6	1.7	78.5	172	467	24	66.6

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 13 การเจริญเติบโตของต้นส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาหลังปลูกลงแปลง

กรรมวิธี		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)						
เอ็คโตไมคอร์ไรซา	แหล่งโพแทสเซียม	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	8 เดือน
ไม่ใส่	ไม่ใส่	14.2	14.8	15.9	16.6	17.7	19.2	21.1
	ปุ๋ย 0-0-60	14.4	15.4	16.1	16.8	18.1	19.4	21.3
	หินเฟลสปาร์	14.8	14.3	15.6	16.5	17.7	19.2	22.1
ใส่	ไม่ใส่	13.8	13.9	14.3	15.5	16.5	18.7	19.8
	ปุ๋ย 0-0-60	15.2	14.6	15.6	16.8	17.6	18.7	19.9
	หินเฟลสปาร์	15.2	15.5	16.3	16.8	18.0	19.6	21.2
	%C.V.	13.8	13.5	13.0	11.2	10.2	10.8	10.9

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14 ผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชที่ระยะ 8 เดือน หลังปลูกลงแปลง

กรรมวิธี		N	P	K	Ca	Mg	ความชื้น
เอ็คโตไมคอร์ไรซา	แหล่งโพแทสเซียม	%	%	%	%	%	%
ไม่ใส่	ไม่ใส่	2.06	0.17	2.13	2.63	0.12	63.2
	ปุ๋ย 0-0-60	1.72	0.16	1.97	2.33	0.11	59.8
	หินเฟลสปาร์	1.99	0.17	2.13	2.57	0.12	63.9
ใส่	ไม่ใส่	1.80	0.14	2.20	2.30	0.11	63.4
	ปุ๋ย 0-0-60	1.96	0.16	2.37	2.53	0.10	62.9
	หินเฟลสปาร์	2.06	0.15	2.40	2.60	0.13	64.9
	%C.V.	19.9	19.8	14.8	25.3	28.7	5.5

ค่าเฉลี่ยตามสดมภ์ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. ได้องค์ความรู้เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารหลักแก่ส้มโอโดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพเอ็คโตไมคอร์ไรซา คือ ได้ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสกุล *Phlebopus* ที่จำเพาะต่อการเข้าอยู่อาศัยกับต้นส้มโอ

2. ได้ต้นแบบเทคโนโลยีการใช้ราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในการผลิตต้นกล้าส้มโอ โดยการใช้รา *Phlebopus* sp. ใส่ในระยะต้นกล้า เพื่อการผลิตต้นกล้าส้มโอที่มีคุณภาพ

3. เนื่องจากพืชทดสอบเป็นพืชยืนต้น ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของราเอ็คโตไมคอร์ไรซาสกุล *Phlebopus* ในการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในแปลงทดลอง จำป็นต้องมีการทดสอบต่อเนื่องในระยะที่ยาวนานขึ้น

บรรณานุกรม

จินตนา บุพบรรพต และ ศิริภา โพธิ์พินิจ. 2545. การใช้ประโยชน์ของเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซากับกล้าไม้วงศ์ยาง I. ความหลากหลายของเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาในสวนป่าไม้วงศ์ยางบางชนิดและการแยกเชื้อรา, น. 394-406. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ณัฐวุฒิ วิริยะธนาวุฒิวงษ์, กฤษชนะ นิสสะ และ สมฤดี ตะเคียนเกลี้ยง. 2558. ความหลากหลายของประชากรไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่บริเวณรากของต้นยางนา, น. 142-143. *ใน* การประชุมวิชาการการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 2. 10-12 มิถุนายน 2558, จังหวัดตรัง.

ธานิตา อาสว่าง, อุไรวรรณ วิจารณกุล, รุ้งเพชร แข็งแรง, ณัฏฐิกา สุวรรณาศรัย และ เชิดชัย โพธิ์ศรี. 2558. เอ็คโตไมคอร์ไรซาของเห็ดเผาะสิรินธรในกล้าไม้ยางนา, น. 88-93. *ใน* การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4: คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

บารมี สกลรักษ์, กิตติมา ด้วงแค, จันจิรา อายะวงศ์, วินันท์ดา หิมะมาน และ กฤษณา พงษ์พานิช. 2554. ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ของเห็ดราในอุทยานแห่งชาติแม่ปิง. แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/foremic/fmo/2554/3_MP%20Mushroom%2054%20edited.pdf , 29 กันยายน 2558.

ประภาพร ตั้งกิจโชติ, มัญชะนี เขียววิชัย และ กวิศร์ วานิชกุล. 2554. ผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการเติบโตทางกิ่งใบของมะละกอพันธุ์เม็กซิโก-เกษตร, น. 296-303. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาพืช, กรุงเทพฯ.

ประภาพร ตั้งกิจโชติ, มัชฌิมา แทนสา และ กวิศร์ วานิชกุล. 2555. ผลของเชื้อเห็ดตับเต่าต่อการออกรากของกิ่งตอนชมพู่พันธุ์เพชรสายรุ้ง, น. 272-279. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์, สาขาพืช, กรุงเทพฯ.

ปานทิพย์ ขันวิชัย และ ประภาพร ตั้งกิจโชติ. 2552. ผลของเชื้อเห็ดตับเต่า (*Boletus colossus* Heim.) ไอโซเลทต่าง ๆ ต่อการเติบโตทางกิ่งใบและมวลชีวภาพของต้นกล้าฝรั่ง 'Okinawa', น. 319-326.

กรมวิชาการเกษตร

ใน เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาพืช, กรุงเทพฯ.

สุนัดดา โยมญาติ. 2551. โครงสร้างสังคมของราเอคโตไมคอร์ไรซาและการประยุกต์เพื่อการปลูกป่าไม้วงศ์ไม้ยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/production.html, 3 พฤษภาคม 2559.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี, สิริวิภา สัจจพงษ์ และ สมเพชร เจริญสุข. 2544. การคัดเลือก รวบรวม และผลการใช้เชื้อเอ็คโตไมคอร์ไรซาในไม้โตเร็วและไม้ผล, น. 72-76. *ใน* อภิรัชต์ สมฤทธิ์, อัจฉรา พยัพพานนท์, เทวินทร์ กุลปิยวัฒน์ และ ธารทิพย์ ภาสบุตร (บรรณาธิการ). เห็ดไทย 2544. สมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

Alves, L., V.L. Oliveira and G.N.S. Filho. 2010. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. Brazilian Journal of Microbiology 41: 676-684.

Arvieu, J.-C., F. Leprince and C. Plassard. 2003. Release of oxalate and protons by ectomycorrhizal fungi in response to P-deficiency and calcium carbonate in nutrient solution. Annals of Forest Science 60: 815-821.

Boroujeni, D.S. and B. Hemmatinezhad. 2015. Review of application and importance of ectomycorrhiza fungi and their role in the stability of ecosystems. Biosciences Biotechnology Research Asia 12(1): 153-158.

Bougher, N.L. 1995. Diversity of ectomycorrhizal fungi associated with eucalypts in Australia in mycorrhizas for plantation forestry in Asia. ACIAR Proc 62:8–15.

Chalot, M., A. Javelle, D. Blaudez, R. Lambilliote, R. Cooke, H. Sentenac, D. Wipf and B. Botton. 2002. An update on transport processes in ectomycorrhizas. Plant Soil 244: 165–175.

Corratgé, C., S. Zimmermann, R. Sambilliotte, C. Plassard, R. Marmeisse, J.-B. Thibaud, B. Sacombe and H. Sentenac. 2007. Molecular and functional characterization of a Na^+ -K^+ transporter form the Trk family in ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum*. The Journal of biological chemistry (36)282: 26057-26066.

Deckmyn, G., A. Meyer, M.M. Smits, A. Ekblad, T. Grebenc, A. Komarov and H. Kraigher. 2014. Simulating ectomycorrhizal fungi and their role in carbon and nitrogen cycling in forest ecosystems. Canadian Journal of Forest Research 44: 535-553.

Jentschke, G., B. Brandes, A.J. Kuhn, W.H. Schröder and D.L. Godbold. 2000. Interdependence of phosphorus, nitrogen, potassium and magnesium translocation by the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus.* New Phytologist 149: 327-337.

Kaewgrajang, T., U. Sangwanit, K. Iwase, M. Kodama and M. Yamato. 2013. Effects of ectomycorrhizal fungus *Astraeus odoratus* on *Dipterocarpus alatus* seedlings. Journal of Tropical Forest Science 25(2): 200-205.

กรมวิทยาศาสตร์

Kaewgrajang, T., U. Sangwanit, M. Kodama and M. Yamato. 2014. Ectomycorrhizal fungal communities of Dipterocarpus alatus seedlings introduced by soil inocula from a natural forest and a plantation. Journal of Forest Research 19(2): 260-267.

Kohzu, A., T. Tateishi, A. Yamada, K. Koba and E. Wada. 2000. Nitrogen isotope fractionation during nitrogen transport from ectomycorrhizal fungi, *Suillus granulatus*, to the host plant, *Pinus densiflora*. Soil Science and Plant Nutrition 46(3): 733-739.

Kumla, J., N. Suwannaeach, B. Bussaban, K. Matsui and S. Lamyong. 2014. Indole-3-acetic acid production, solubilization of insoluble metal minerals and metal tolerance of some sclerodermatoid fungi collected from northern Thailand. Annals of Microbiology 64(2): 707-720.

Miller, O.K., D.J. Lodge and T.J. Baroni. 2000. New and Interesting Ectomycorrhizal Fungi from Puerto Rico, Mona, and Guana Islands. Mycologia 92(3):558-570.

Müller, T., M. Avolio, M. Olivi, M. Benjdia, E. Rikirsch, A. Kasaras, M. Fitz, M. Clalot and D. Wipf. 2007. Nitrogen transport in the ectomycorrhiza association: The *Hebeloma cylindrosporum-Pinus pinaster* model. Phytochemistry 68: 41-51.

Pena, R. and A. Polle. 2014. Attributing functions to ectomycorrhizal fungal identities in assemblages for nitrogen acquisition under stress. The ISME Journal 8: 321-330.

Pham, N.D.H., A. Yamada, K. Shimizu, K. Noda, L.A.T. Dang and A. Suzuki. 2012. A sheathing mycorrhiza between the tropical bolete *Phlebopus spongiosus* and *Citrus maxima*. Mycoscience 53: 347-353.

Phosri C., S. Põlme, A.F.S. Taylor, U. Kõljalg, N. Suwannasai and L. Tedersoo. 2012. Diversity and community composition of ectomycorrhizal fungi in a dry deciduous dipterocarp forest in Thailand. Biodiversity and Conservation 21(9): 2287-2298

Plassard, C. and B. Dell. 2010. Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. Tree Physiology 30: 1129-1139.

Plassard, C., J. Louche, M.A. Ali, M. Duchemin, E. Legname and B. Cloutier-Hurteau. 2011. Diversity in phosphorus mobilization and uptake in ectomycorrhizal fungi. Annals of Forest Science 68(1): 33-43.

Sanmee, R., P. Lumyong, B. Dell and S. Lumyong. 2010. In vitro cultivation and fruit body formation of the black bolete, Phlebopus portentosus, a popular edible ectomycorrhizal fungus in Thailand. Mycoscience. 51(1):15-22.

Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Cambridge, San Diego, USA.

Treseder, K.K., C.I. Czimczik, S.E. Trumbore and S.D. Allison. 2008. Uptake of an amino acid by ectomycorrhizal fungi in a boreal forest. Soil Biology & Biochemistry 40: 1964-1966.

Wipf, D., M. Benjdia, M. Tegeder and W.B. Frommer. 2002. Characterization of a general amino acid permease from *Hebeloma cylindrosporum*. FEBS Lett. 528: 119–124.

Zang, M., C.-M. Chen and C. Sittigul. 1999. Some new and interesting taxa of Boletales from tropical asia. Fung. Sci. 14(1, 2): 19-25.

กรมวิชาการเกษตร