

การควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* โดยการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา และเชื้อราปฏิปักษ์

Control of tomato seed disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* using fungicides and antagonistic fungi

พชรมน เล็บสิงห์^{1,2}, อนันต์ วงเจริญ^{1,2,3*} และ สุวิตา แสไพศาล^{1,2,3}

Pacharamon Lebsing^{1,2}, Anan Wongcharoen^{1,2,3*} and Suwita Saepaisan^{1,2,3}

¹ สาขาวิชาวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002

¹ Entomology and Plant Pathology Section, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

² Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900, Thailand

³ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตรเพื่อเศรษฐกิจที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

³ Agricultural Biotechnology Research Center for Sustainable Economy, Khon Kaen University 40002

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* โดยการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ 4 ไอโซเลต ได้แก่ *Daldinia eschscholtzii* ไอโซเลต FL11 และ K12, *Trichoderma harzianum* ไอโซเลต GR03 และ *Trichoderma ghanense* ไอโซเลต GR06 และสารเคมีกำจัดเชื้อรา 8 ชนิด ได้แก่ mancozeb, carbendazim, benomyl, prochloraz, propiconazole + difenoconazole, tebuconazole + trifloxystrobin, hymexazol และ fosetyl-aluminium การศึกษาการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* พบว่า เชื้อราปฏิปักษ์ทั้ง 4 ไอโซเลต สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค dual culture assay ในขณะที่สารเคมี mancozeb, carbendazim, benomyl และ prochloraz สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้ 100% เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค poisoned food การทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรคในสภาพห้องปฏิบัติการและเรือนทดลองพบว่าการแช่เมล็ดมะเขือเทศที่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคด้วยเชื้อราปฏิปักษ์ *Daldinia eschscholtzii* FL11 และสารเคมี mancozeb, carbendazim และ benomyl สามารถลดอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคได้ นอกจากนี้ยังไม่มีผลกระทบต่ออัตราการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศ

คำสำคัญ: โรคพืช; เมล็ดพันธุ์; ชีววิธี; เชื้อรา; โรคเหี่ยว

ABSTRACT: This study aims to evaluate the efficiency of tomato seed disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* using four antagonistic fungi namely *Daldinia eschscholtzii* isolates FL11 and K12, *Trichoderma harzianum* isolate GR03 and *Trichoderma ghanense* isolate GR06 and eight fungicides namely mancozeb, carbendazim, benomyl, prochloraz, propiconazole + difenoconazole, tebuconazole + trifloxystrobin, hymexazol and fosetyl-aluminium. The study of mycelial growth inhibition of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* found that all antagonistic fungi can inhibit the growth of pathogen when determined by dual culture technique. Whereas mancozeb, carbendazim, benomyl and prochloraz showed 100% growth inhibition when tested by poisoned food technique. The efficiency of disease control under laboratory and greenhouse was investigated. The result showed

* Corresponding author: wanan@kku.ac.th

that *Fusarium* infected seed soaked with *Daldinia eschscholtzii* FL11, mancozeb, carbendazim and benomyl can reduce disease incidence and disease severity. Furthermore, these treatments had no effect on seed germination and growth of tomato seedling.

Keywords: plant disease; seed; biological control; fungi; wilt

บทนำ

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยและทั่วโลก มะเขือเทศนอกจากนิยมนำมาบริโภคผลสดแล้ว ยังนำมาใช้เป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น ผลิตภัณฑ์ด้านอาหาร ผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรม และผลิตภัณฑ์ด้านเวชสำอาง อีกทั้งมะเขือเทศยังมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ของประเทศไทยอีกด้วย โดยในปี 2560 ประเทศไทยสามารถส่งออกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสมปริมาณมากกว่า 38 ตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการส่งออกมากกว่า 5,400 ล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2563)

เชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen สาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศ (*Fusarium wilt*) เป็นเชื้อราสำคัญที่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจต่อการผลิตมะเขือเทศของประเทศไทยและทั่วโลก (Sivakumar et al., 2018) เชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* เป็นเชื้อที่แพร่ระบาดทางทางดิน (soilborne pathogen) โดยเชื้อมีชีวิตอยู่ในดินที่ปราศจากพืชอาศัยในรูป chlamydospore ได้นานหลายปี (Roncero et al., 2003) นอกจากนี้เชื้อยังสามารถติดไปกับเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (contaminated seed) ทำให้เป็นแหล่งเชื้อสำคัญของการแพร่ระบาดในแปลงปลูก (Agrios, 1988) นอกจากนี้เชื้อที่ติดไปกับเมล็ดพันธุ์สามารถทำให้เกิดโรคเมล็ดเน่า หรือรากเน่าเมื่องอกเป็นต้นกล้าได้อีกด้วย ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อจำนวนต้นที่จะนำไปปลูกในแปลงปลูก การคลุมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมโรคของเมล็ดพันธุ์ (Kim and Kim, 2008) ซึ่งการเลือกใช้สารเคมีต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคและไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราอาจทำให้เชื้อราเกิดการต้านทานต่อสารเคมี และทำให้เกิดเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าที่ใหม่ที่มีความสามารถในการก่อโรครุนแรงยิ่งขึ้น (Fuchs et al., 1999)

ปัจจุบันการผลิตพืชปลอดภัยและพืชอินทรีย์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น จึงทำให้การใช้เชื้อราปฏิปักษ์ (antagonistic fungi) เข้ามามีบทบาทในการควบคุมโรคพืช ซึ่งนอกจากจะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคแล้วยังลดความเสี่ยงของเชื้อราสาเหตุโรคที่จะต้านทานสารเคมีได้อีกด้วย อีกทั้งเชื้อราปฏิปักษ์ยังมีประโยชน์ต่อพืชทั้งในด้านการส่งเสริมการเจริญของพืช รวมถึงการทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสม (Rodriguez et al., 2009) อีกด้วย เชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* spp. เป็นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยมีหลายการศึกษาที่รายงานว่าเชื้อราสกุลนี้มีความสามารถในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชได้หลากหลายชนิดรวมถึงเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* อีกด้วย (Elad and Kapat, 1999; Ramezani, 2009; Srivastava et al., 2010) แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เชื้อราปฏิปักษ์ควรเป็นเชื้อที่มีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมในแหล่งพื้นที่ปลูก โดยการศึกษานี้ได้ใช้เชื้อราปฏิปักษ์ที่คัดแยกได้จากสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยเป็นเชื้อราเอนโดไฟต์ (endophytic fungi) ที่แยกได้จากข้าว ได้แก่ เชื้อรา *Trichoderma harzianum* GR03 และ *Trichoderma ghanense* GR06 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคของข้าวและยางพาราหลายชนิด (อนันต์, 2557; กานต์ และอนันต์, 2559; ทักษิณา และคณะ, 2559ก; ทักษิณาและคณะ, 2559ข) และเชื้อรา *Daldinia eschscholtzii* FL11 ที่มีประสิทธิภาพในการลดความรุนแรงของโรคไหม้ของข้าว และเชื้อราสาเหตุโรคของข้าวหลายชนิด (กานต์ และอนันต์, 2559; กานต์ และอนันต์, 2560) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเชื้อเหล่านี้ต่อการควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมีกำจัดเชื้อราในการควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศสาเหตุจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

วิธีการศึกษา

1. ผลของเชื้อราปฏิปักษ์ต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

เชื้อราปฏิปักษ์ที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 4 ไอโซเลต ได้แก่ *D. eschscholtzii* ไอโซเลต FL11 และ K12, *T. harzianum* ไอโซเลต GR03 และ *T. ghanense* ไอโซเลต GR06 เชื้อราสาเหตุโรค ได้แก่ *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ไอโซเลต AD49 ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคด้วยเทคนิค dual culture ตามกรรมวิธีของ อนันต์ (2557) โดยเลี้ยงเชื้อราทุกชนิดบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 28 °ซ เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเจาะปลายเส้นใยเชื้อราด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. นำมาวางบนอาหาร PDA โดยวางเชื้อราปฏิปักษ์และเชื้อราสาเหตุโรคในทิศทางตรงกันข้ามและวางห่างกัน 5 ซม. บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 °ซ ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ กรรมวิธีควบคุมได้แก่ การใช้ชิ้นวุ้น PDA แทนเชื้อราปฏิปักษ์ หลังจากบ่มเชื้อเป็นเวลา 7 และ 14 วัน ทำการวัดรัศมีโคโลนี (มม.) ของเชื้อราสาเหตุโรค และวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (% growth inhibition) จากสูตร $(C-T) / C \times 100$ เมื่อ C = รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีควบคุม และ T = รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีทดสอบ ทำการศึกษากิจกรรมการยับยั้ง (antagonistic activities) ดังนี้ 1) การครอบครองพื้นที่ (Competition: C) โดยปลายเส้นใยของเชื้อราเจริญชนกัน 2) การเป็นปรสิต (Mycoparasite: M) โดยแบ่งเป็น M1 และ M2 คือ การเจริญทับเชื้อราสาเหตุโรคเพียงบางส่วน และอย่างสมบูรณ์ ตามลำดับ

2. ผลของสารเคมีกำจัดเชื้อราต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

สารเคมีกำจัดเชื้อราที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 8 ชนิด ซึ่งมีรายงานการนำมาใช้ควบคุมเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ได้แก่ prochloraz, carbendazim, benomyl, propiconazole + difenoconazole, tebuconazole + trifloxystrobin, mancozeb, fosetyl-aluminium และ hymexazol โดยใช้ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำที่ระบุบนฉลาก (Table 2) ทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค ด้วยวิธี Poisoned food technique โดยเลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 28 °ซ เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเจาะปลายเส้นใยเชื้อราด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. นำมาวางบนอาหาร PDA ที่ผสมสารเคมีกำจัดเชื้อรา กรรมวิธีควบคุมได้แก่ ชิ้นวุ้นเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหาร PDA ที่ไม่ผสมสารเคมีกำจัดเชื้อรา ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ หลังจากบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 °ซ เป็นเวลา 7 วัน ทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนี (มม.) ของเชื้อราสาเหตุโรค และคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (% growth inhibition) จากสูตร $(C-T) / C \times 100$ เมื่อ C = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีควบคุม และ T = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีทดสอบ ทำการคัดเลือกสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญมากกว่า 90% ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

3. ผลของเชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมีกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

3.1 ทดสอบการควบคุมโรคในสภาพห้องปฏิบัติการ

การเตรียมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ โดยนำเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดา มาทำการกำจัดเชื้อที่ผิวโดยแช่เมล็ดในสารละลาย 0.825% NaOCl เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อจำนวน 3 ครั้ง และผึ่งเมล็ดให้แห้ง

การเตรียมสปอร์แขวนลอย โดยเลี้ยงเชื้อราปฏิปักษ์และเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหาร PDA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 °ซ เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาทำสปอร์แขวนลอย และปรับความเข้มข้นของสปอร์แขวนลอยของเชื้อราปฏิปักษ์และเชื้อราสาเหตุโรคเท่ากับ 1×10^7 สปอร์/มล. และ 1×10^5 สปอร์/มล. ตามลำดับ

การปลูกเชื้อราสาเหตุโรคลงบนเมล็ดมะเขือเทศ (inoculation) โดยนำเมล็ดมะเขือเทศที่ผ่านการกำจัดเชื้อที่ผิวมาแช่ในสปอร์แขวนลอยของเชื้อราสาเหตุโรค เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นผึ่งเมล็ดให้แห้ง

การทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรค โดยนำเมล็ดที่ผ่านการปลูกเชื้อราสาเหตุโรคมาแช่ในสปอร์แขวนลอยเชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมีกำจัดเชื้อราที่ผ่านการคัดเลือก (ความเข้มข้นตามอัตราที่ฉลากแนะนำ) เป็นเวลา 30 นาที และผึ่งให้แห้ง กรรมวิธีควบคุมคือเมล็ดที่แช่น้ำกลั่นปลอดเชื้อและเมล็ดที่แช่สปอร์แขวนลอยเชื้อราสาเหตุโรคเพียงอย่างเดียว หลังจากนั้นนำเมล็ดมาทดสอบด้วยวิธี

blotter test ทดสอบกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 100 เมล็ด หลังจากเพาะเมล็ดเป็นเวลา 14 วัน ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเปอร์เซ็นต์การงอกของรากและลำต้น และความสูงของลำต้น

3.2 ทดสอบการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนทดลอง

นำเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เตรียมได้จากข้างต้นมาทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนทดลอง โดยเพาะเมล็ดในถาดเพาะที่ใช้พีทมอสผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเป็นวัสดุเพาะ ทดสอบกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 60 เมล็ด หลังจากเพาะเมล็ดเป็นเวลา 30 วัน ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคจากสูตร (จำนวนต้นที่เกิดโรค/จำนวนต้นทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ) \times 100 และทำการประเมินระดับความรุนแรงโรค (disease severity score) โดยตัดแปลงจาก Song et al. (2004) ดังนี้ 1 = ไม่เกิดโรค, 2 = พืชทั้งต้นเกิดอาการใบเหลือง 25%, 3 = พืชทั้งต้นเกิดอาการใบเหลือง 50%, 4 = พืชทั้งต้นเกิดอาการใบเหลืองและ/หรือเหี่ยว 75% และ 5 = พืชทั้งต้นเกิดอาการเหี่ยว 100% และประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้แก่ อัตราการงอกที่ 14 วันหลังเพาะ และความยาวรากและความสูงลำต้นที่ 30 วันหลังเพาะ โดยสุ่มต้นกล้าจำนวน 25 ต้นต่อซ้ำ

การวิเคราะห์สถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomize design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS v.19

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลของเชื้อราปฏิปักษ์ต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

เชื้อราปฏิปักษ์ทั้ง 4 ไอโซเลต มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคได้แตกต่างกัน (Table 1 และ Figure 1) โดยประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคเมื่อบ่มเชื้อเป็นเวลา 7 วันหลังปลูกเชื้อราสาเหตุโรค พบว่า เชื้อรา *T. harzianum* GR03 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคได้สูงที่สุด 52.1% และแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซเลตอื่นๆ รองลงมาคือเชื้อรา *T. ghanense* GR06 ยับยั้งได้ 40.7% โดยทั้งเชื้อรา *T. harzianum* GR03 และ *T. ghanense* GR06 มีกิจกรรมการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคแบบการเจริญครอบครองพื้นที่ (C) ในขณะที่เชื้อรา *D. eschscholtzii* ไอโซเลต FL11 และ K12 สามารถยับยั้งได้ 13.4% และ 14.5% ตามลำดับ โดยมีกิจกรรมการยับยั้งแบบการเป็นปรสิตบางส่วน (M1) อย่างไรก็ตามหลังจากบ่มเชื้อเป็นเวลา 14 วัน พบว่า เชื้อรา *D. eschscholtzii* FL11 และ K12 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้ 100% โดยเชื้อราปฏิปักษ์เจริญคลุมทับเชื้อราสาเหตุโรคอย่างสมบูรณ์ (M2) ในขณะที่เชื้อรา *T. harzianum* GR03 และ *T. ghanense* GR06 ยังคงมีกิจกรรมการยับยั้งแบบการครอบครองพื้นที่เช่นเดิม โดยสามารถยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคได้ 84.2% และ 68.4% ตามลำดับ มีรายงานว่าเชื้อรา *T. harzianum* และ *T. ghanense* สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ได้ ซึ่งมีกลไกแบบการเจริญครอบครองพื้นที่ (Sundaramoorthy and Balabaskar, 2013; Debbi et al., 2018) ในขณะที่จากงานวิจัยนี้พบว่าเชื้อรา *D. eschscholtzii* FL11 และ K12 สามารถเจริญคลุมทับเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคได้ซึ่งเป็นการแสดงออกของกลไกการเป็นปรสิตต่อเชื้อราสาเหตุโรค (mycoparasite) โดย McQuilken and Gemmell (2004) รายงานว่าเชื้อปฏิปักษ์ที่มีศักยภาพในการเป็นปรสิตต่อเชื้อราสาเหตุโรคสามารถสร้างเอนไซม์ที่ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคได้เช่น chitinase และ β -1,3-glucanase เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญของเชื้อปฏิปักษ์

Table 1 Effect of antagonistic fungi to inhibit the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by dual culture assay

Antagonistic fungi	Growth inhibition (%) ^{1/}	
	7 DAI ^{2/3/}	14 DAI
<i>Daldinia eschscholtzii</i> FL11	13.4 + 2.0 (M1) c	100.0 + 0.0 (M2) a
<i>Daldinia eschscholtzii</i> K12	14.5 + 0.0 (M1) c	100.0 + 0.0 (M2) a
<i>Trichoderma harzianum</i> GR03	52.1 + 0.0 (C) a	84.2 + 13.7 (C) b
<i>Trichoderma ghanense</i> GR06	40.7 + 7.1 (C) b	68.4 + 6.9 (C) c

^{1/} Each value represents the mean of three replicates and mean within a column followed by same small letter are not significantly different at $P < 0.01$ using DMRT (\pm = standard deviation).

^{2/} DAI = day after inoculation of pathogen

^{3/} Antagonistic activities, C = competition, M1 = Partial mycoparasite and M2 = Complete mycoparasite



Figure 1 Growth inhibition of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* by *Daldinia eschscholtzii* FL11, *Daldinia eschscholtzii* K12, *Trichoderma harzianum* GR03 and *Trichoderma ghanense* GR06, (DAI: days after inoculation, right: pathogen and left: antagonist)

2. ผลของสารเคมีกำจัดเชื้อราต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดเชื้อราต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* พบว่า สารเคมี carbendazim, benomyl, mancozeb และ prochloraz สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้ 100% และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) จากสารเคมี tebuconazole + trifloxystrobin, propiconazole + difenoconazole, hymexazol ที่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 85.50%, 81.87% และ 32.33% ตามลำดับ (Table 2) สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่รายงานว่าสารเคมี carbendazim, benomyl, mancozeb และ prochloraz มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Taskeen et al., 2011; Aroosa et al., 2012; Akhtar et al., 2017 และ Song et al., 2014)

ในขณะที่สารเคมี fosetyl-aluminium ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้ (Table 2) ซึ่งตรงกันข้ามกับรายงานของ Sahar et al. (2013) และ วราภรณ์ และคณะ (2560) ที่รายงานว่าสารชนิดนี้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ได้ ซึ่งอาจเกิดจากไอโซเลตของเชื้อราสาเหตุโรคที่ใช้ในการศึกษานี้มีความต้านทานต่อสารเคมี อย่างไรก็ตามไม่พบรายงานการเกิดความต้านทานของเชื้อ *Fusarium* spp. ต่อสารเคมี fosetyl-aluminium ในขณะที่มีรายงานการเกิดความต้านทาน

สารเคมี fosetyl-aluminium ของเชื้อรา *Bremia lactucae* สาเหตุโรคราน้ำค้างของผักกาดหอม โดยความต้านทานมีความสัมพันธ์กับไอโซเลตของเชื้อสาเหตุโรค (Brown et.al., 2004)

ดังนั้นจากการศึกษานี้จึงคัดเลือกสารเคมี prochloraz, carbendazim, benomyl และ mancozeb มาใช้ในการทดสอบการควบคุมโรคต่อไป

Table 2 Effect of fungicides on growth inhibition of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Fungicides	Concentration (per 20 L)	Growth inhibition (%) ^{1/}
Mancozeb (80%, WP)	50 g	100.0 ± 0.0 a
Carbendazim (50%, WP)	30 g	100.0 ± 0.0 a
Benomyl (50%, WP)	20 g	100.0 ± 0.0 a
Prochloraz (45%, EC)	20 cc	100.0 ± 0.0 a
Propiconazole + Difenoconazole (30%, EC)	20 cc	81.9 ± 0.0 c
Tebuconazole + Trifloxystrobin (75%, WG)	30 g	85.5 ± 0.0 b
Hymexazol (36%, SL)	40 cc	32.3 ± 4.3 d
Fosetyl-Aluminium (80%, WG)	60 g	-4.5 ± 1.1 e

^{1/} Each value represents the mean of three replicates and mean within a column followed by same letter(s) are not significantly different at $P < 0.01$ using DMRT (\pm standard deviation)

3. ผลของเชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมีกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

3.1 ทดสอบการควบคุมโรคในสภาพห้องปฏิบัติการ

การแช่เมล็ดมะเขือเทศที่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคด้วยสปอร์แขวนลอยเชื้อรา *D. eschscholtzii* FL11, *D. eschscholtzii* K12, *T. harzianum* GR03 และ *T. ghanense* GR06 และสารเคมีกำจัดเชื้อรา mancozeb, carbendazim, benomyl และ prochloraz สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรค (Table 3 และ Figure 2) อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ *D. eschscholtzii* FL11 และ *D. eschscholtzii* K12 และสารเคมีทั้ง 4 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคอยู่ในช่วง 0.0% - 10.7% ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่มีเชื้อราสาเหตุโรค

นอกจากนี้การแช่เมล็ดที่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคด้วยเชื้อราปฏิปักษ์ *D. eschscholtzii* FL11 และ *D. eschscholtzii* K12 และสารเคมีทั้ง 4 ชนิด ยังพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การงอกและการงอกกล้าต้นอยู่ในช่วง 90.7% - 99.3% โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่มีเชื้อราสาเหตุโรคที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกและการงอกกล้าต้นเท่ากับ 97.7% และ 96.3% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามต้นกล้ามะเขือเทศจากเมล็ดที่แช่สารเคมี mancozeb และเชื้อรา *D. eschscholtzii* FL11 มีความสูงของลำต้นมากที่สุดเท่ากับ 44.0 และ 43.0 มม. ตามลำดับ โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคที่มีความสูงของลำต้นเท่ากับ 37.7 มม. Gullino et.al. (2010) รายงานว่า สารเคมี mancozeb มี manganese และ zinc เป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมาใช้คลุกเมล็ดจึงอาจทำให้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชได้ ในขณะที่ไม่พบรายงานกลไกของเชื้อรา *D. eschscholtzii* ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าเชื้อรา *D. eschscholtzii* สามารถเพิ่มความสูงของต้นกล้าพริกไทยได้ (Sreeja et.al., 2019) ซึ่งอาจเกิดจากเชื้อมีความสามารถในการผลิตสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Devi

et.al., 2020) ในขณะที่เมล็ดที่แช่สารเคมี prochloraz มีความสูงของลำต้นเท่ากับ 30.0 มม. ซึ่งน้อยกว่าเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) (Table 3) ซึ่งอาจเกิดจากสารเคมี prochloraz ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น การสังเคราะห์ gibberellin เป็นต้น (Görtz et.al., 2012)

Table 3 Effect of tomato seed treatment with antagonistic fungi and fungicides on disease incidence and seedling growth by blotter test

Treatment	Diseased incidence (%) ^{1/}	Root germination (%) ^{1/}	Shoot germination (%) ^{1/}	Shoot height (mm.) ^{1/}
No pathogen	0.0 ± 0.0 d	97.7 ± 2.1 a	96.3 ± 1.5 a	37.7 ± 1.5 cde
Only pathogen	97.7 ± 2.5 a	28.0 ± 10.4 d	17.7 ± 2.1 c	33.0 ± 2.7 ef
<i>Daldinia</i> FL11	10.7 ± 4.9 d	90.7 ± 3.8 a	90.7 ± 3.8 a	43.0 ± 2.0 ab
<i>Daldinia</i> K12	8.0 ± 2.0 d	91.7 ± 3.5 a	91.7 ± 3.5 a	38.7 ± 2.5 bcd
<i>Trichoderma</i> GR03	83.3 ± 3.1 b	29.3 ± 1.2 c	29.3 ± 1.2 c	35.0 ± 0.0 cdef
<i>Trichoderma</i> GR06	54.7 ± 16.2 c	50.7 ± 13.7 b	50.7 ± 13.7 b	40.0 ± 3. abc
Mancozeb	0.0 ± 0.0 d	99.3 ± 1.2 a	99.3 ± 1.2 a	44.0 ± 4.6 a
Carbendazim	5.3 ± 2.5 d	97.3 ± 3.8 a	96.0 ± 3.5 a	37.7 ± 2.3 cde
Benomyl	2.7 ± 2.5 d	98.7 ± 1.2 a	96.0 ± 1.7 a	34.7 ± 3.5 def
Prochloraz	0.0 ± 0.0 d	97.0 ± 1.0 a	97.0 ± 1.0 a	30.0 ± 3.0 f

^{1/} Each value represents the mean within a column followed by same letter(s) are not significantly different at $P < 0.01$ using DMRT (± standard deviation)

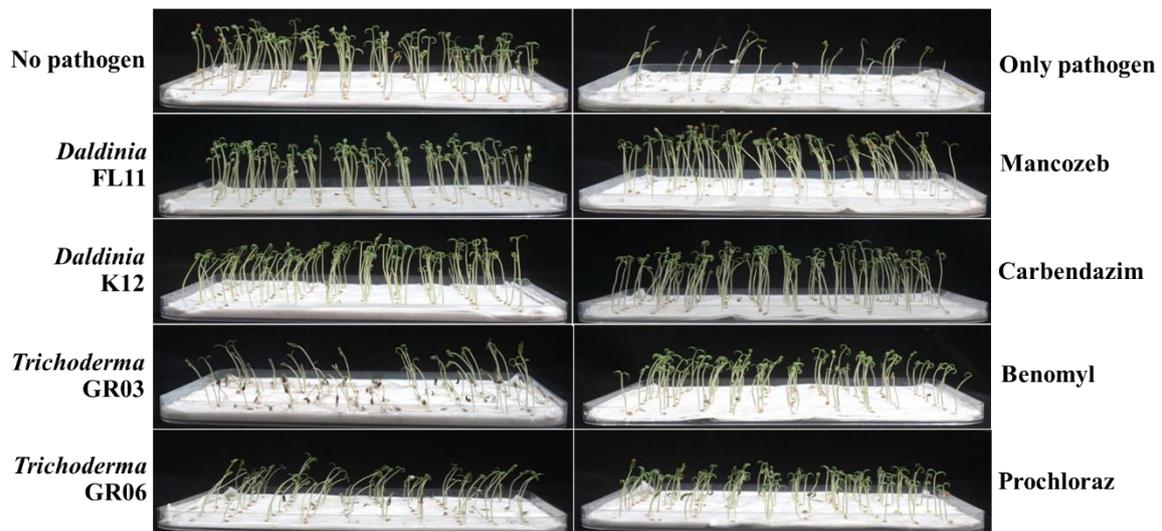


Figure 2 Effect of tomato seed treatment with antagonistic fungi and fungicides on control of seed disease caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*

3.2 ทดสอบการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนทดลอง

การแช่เมล็ดที่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคด้วยสปอร์แขวนลอยเชื้อราปฏิปักษ์ไอโซเลต GR03, GR06, FL11 และ K12 และสารเคมี prochloraz, carbendazim, benomyl และ mancozeb สามารถลดอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคได้ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและระดับความรุนแรงของโรคอยู่ในช่วง 5.8 – 37.1% และ 1.3-2.3 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรคที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและระดับความรุนแรงของโรคเท่ากับ 85.8% และ 4.2 ตามลำดับ (Table 4) การใช้สารเคมีทั้ง 4 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและระดับความรุนแรงของโรคต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 5.8-14.2% และ 1.3-1.4 ตามลำดับ รองลงมาได้แก่การใช้เชื้อราไอโซเลต K12 และ FL11ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเท่ากับ 23.3% และ 24.2% ตามลำดับ และทั้งสองไอโซเลตมีระดับความรุนแรงของโรคเท่ากับ 1.7

การใช้เชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราทุกชนิดมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดอยู่ในช่วง 90.0-97.8% ซึ่งเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรคที่มีเปอร์เซ็นต์การงอก 85.6% (Table 4) อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีทั้ง 4 ชนิด และเชื้อราปฏิปักษ์ไอโซเลต FL11 และ GR03 มีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ในช่วง 95.6-97.8% ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) จากเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคที่มีการงอกเท่ากับ 98.3% ในขณะที่เมล็ดที่แช่เชื้อราไอโซเลต K12 มีอัตราการงอก 90% ซึ่งต่ำกว่าเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

การใช้เชื้อราปฏิปักษ์ไอโซเลต FL11 และ K12 และสารเคมี mancozeb, carbendazim, benomyl และ prochloraz มีความสูงของต้นกล้ามะเขือเทศอยู่ในช่วง 38.8-43.5 ซม. ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรคที่มีความสูงเท่ากับ 32.7 ซม. (Table 4) อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ FL11 และ K12 และสารเคมี mancozeb, carbendazim และ benomyl พบว่า ต้นกล้ามะเขือเทศมีความสูงอยู่ในช่วง 39.9-43.5 ซม. โดยความสูงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) จากเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคที่มีความสูงเท่ากับ 44.7 ซม.

ต้นกล้ามะเขือเทศจากเมล็ดที่ใช้เชื้อราปฏิปักษ์ FL11 และ K12 มีความยาวรากเท่ากับ 13.3 และ 13.2 ซม. ตามลำดับ ซึ่งความยาวรากแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคและปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรคที่มีความยาวรากเท่ากับ 10.1 และ 9.1 ซม. ตามลำดับ (Table 4) ในขณะที่ความยาวรากของต้นกล้ามะเขือเทศจากกรรมวิธีการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ GR03, GR06 และสารเคมีทั้ง 4 ชนิด มีความยาวรากอยู่ในช่วง 9.5-12.1 ซม. ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) จากเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคและปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรค

ดังนั้นจากการทดสอบการควบคุมโรคทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนทดลองพบว่า เชื้อราปฏิปักษ์ *D. eschscholtzii* FL11 และสารเคมี mancozeb, carbendazim และ benomyl มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช งานวิจัยนี้เป็นรายงานครั้งแรกที่ศึกษาการใช้เชื้อรา *D. eschscholtzii* FL11 ในการควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ซึ่งกลไกการควบคุมโรคอาจเกิดจากเชื้อ *D. eschscholtzii* FL11 มีกลไกการยับยั้งแบบเป็นปรสิตต่อเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Table 1) นอกจากนี้ยังมีผลในการส่งเสริมการเจริญของต้นกล้ามะเขือเทศได้ อาจเกิดจากเชื้อ *D. eschscholtzii* FL11 มีความสามารถในการสร้างสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Devi et.al., 2020) อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการใช้สารเคมีจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคดีที่สุด แต่สำหรับระบบการผลิตมะเขือเทศแบบอินทรีย์การใช้เชื้อ *D. eschscholtzii* FL11 สามารถนำมาใช้ทดแทนสารเคมีในการผลิตต้นกล้ามะเขือเทศเพื่อลดการเกิดโรคได้ หลังจากนั้นอาจใช้เชื้อ *D. eschscholtzii* FL11 ในขั้นตอนการย้ายปลูกลงแปลงเพื่อลดความรุนแรงของโรค โดย อนันต์ และคณะ (2562) รายงานว่า การรองกันหลุมด้วยข้าวฟ่างที่มีเชื้อรา *D. eschscholtzii* FL11 สามารถลดความรุนแรงของโรคเหี่ยวมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ได้

Table 4 Effect of antagonistic fungi and fungicides on disease severity and tomato seedling growth under greenhouse

Treatment	Disease incidence (%)	Disease severity score ^{1/}	Seed germination 14 DAS ^{1/2/} (%)	Shoot height 30 DAS (cm) ^{1/}	Root length 30 DAS (cm) ^{1/}
No pathogen	0.0 ± 0.0 f	1.0 ± 0.0 f	98.3 ± 1.7 a	44.7 ± 2.4 a	10.1 ± 1.1 b
Only pathogen	85.8 ± 7.4 a	4.2 ± 0.2 a	85.6 ± 1.0 c	32.7 ± 0.7 d	9.1 ± 1.3 b
<i>Daldinia</i> FL11	24.2 ± 4.4 c	1.7 ± 0.1 d	96.1 ± 1.9 a	43.5 ± 2.0 ab	13.3 ± 1.0 a
<i>Daldinia</i> K12	23.3 ± 4.5 c	1.7 ± 0.0 d	90.0 ± 4.4 b	42.4 ± 3.7 ab	13.2 ± 2.0 a
<i>Trichoderma</i> GR03	33.8 ± 3.7 b	1.9 ± 0.2 c	95.6 ± 1.0 a	34.8 ± 1.3 cd	12.1 ± 2.0 ab
<i>Trichoderma</i> GR06	37.1 ± 5.5 b	2.3 ± 0.2 b	92.2 ± 1.9 b	31.1 ± 2.2 d	12.0 ± 0.8 ab
Mancozeb	5.8 ± 4.4 ef	1.4 ± 0.0 e	97.8 ± 1.0 a	40.4 ± 4.2 ab	9.5 ± 2.4 ab
Carbendazim	12.1 ± 3.4 de	1.3 ± 0.2 e	96.7 ± 0.0 a	40.4 ± 2.7 ab	11.3 ± 0.9 b
Benomyl	6.3 ± 3.2 ef	1.3 ± 0.0 e	96.7 ± 1.7 a	39.9 ± 4.5 ab	11.6 ± 1.8 ab
Prochloraz	14.2 ± 6.7 d	1.4 ± 0.1 e	96.7 ± 0.0 a	38.8 ± 1.1 bc	10.1 ± 2.1 b

^{1/} Each value represents the mean within a column followed by same letter(s) are not significantly different at $P < 0.01$ using DMRT (\pm standard deviation)

^{2/} DAS 1 = days after sowing

สรุป

การควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศสาเหตุจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* โดยการแช่เมล็ดด้วยสปอร์แขวนลอยเชื้อราปฏิปักษ์ *D. eschscholtzii* FL11 และสารเคมี Carbendazim, Benomyl และ Mancozeb มีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรค โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญของต้นกล้ามะเขือเทศทั้งด้าน เปอร์เซ็นต์การงอก ความสูงลำต้นและความยาวราก

เอกสารอ้างอิง

- กานต์ จิตสุวรรณ์รักษ์ และ อนันต์ วงเจริญ. 2559. ผลของเชื้อราเอนโดไฟต์ต่อการควบคุมโรคไหม้ของข้าว (*Oryza sativa* L.). แก่นเกษตร.44(ฉบับพิเศษ 1): 232-233.
- กานต์ จิตสุวรรณ์รักษ์ และ อนันต์ วงเจริญ. 2560. ประสิทธิภาพของราเอนโดไฟต์และสารเคมีต่อการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคข้าว (*Oryza sativa* L.). ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13 วันที่ 21 – 23 พฤศจิกายน 2560.
- ทักษิณา ผุดผาด ชูตินันท์ ชูสาย และ อนันต์ วงเจริญ. 2559ก. การควบคุมโรคใบจุดนูนและใบจุดก้างปลาของกล้วยพารา (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) โดยชีววิธีด้วยการใช้เชื้อ *Trichoderma* spp. แก่นเกษตร. 44(ฉบับพิเศษ 1): 225-231.
- ทักษิณา ผุดผาด ชูตินันท์ ชูสาย และ อนันต์ วงเจริญ. 2559ข. ประสิทธิภาพของสารเคมีและเชื้อราเอนโดไฟต์ *Trichoderma* spp. ต่อการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคของยางพารา (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.). แก่นเกษตร. 44(ฉบับพิเศษ 1): 953-959.
- วารารณ บัญเกิด จีรนันท์ แทนมสูงเนิน และ นัฐธิภรณ์ เดชบุรีรัมย์. 2560. การควบคุมโรคเหี่ยวเหลืองของมะเขือเทศด้วยสารป้องกันกำจัดโรคพืชและจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในสภาพเรือนทดลอง. ใน: การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 55 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วันที่ 31 มกราคม – 3 กุมภาพันธ์ 2560.

- สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2563. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์ควบคุม. 2562. แหล่งข้อมูล: http://www.doa.go.th/ard/?page_id=1443 ค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2563.
- อนันต์ วงเจริญ. 2557. การคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์จากข้าว (*Oryza sativa* L.) ที่มีประสิทธิภาพยับยั้งราสาเหตุโรคข้าว. แก่นเกษตร. 42(3): 385-396.
- อนันต์ วงเจริญ ประหยัด ปิยะนันท์ พงศ์ อลงกรณ์ สุริโย และพชรมน เล็บสิงห์. 2562. ประสิทธิภาพของเชื้อ *Daldinia eschscholtzii* ในการควบคุมโรคเหี่ยวของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. แก่นเกษตร. 48(ฉบับพิเศษ 1): 1181-1188.
- Agrios, G. N. 1988. Plant Pathology. Academic Press, Inc. New York.
- Akhtar, T., Q. Shakeel, G. Sarwar, S. Muhammad, Y. Iftikhar, M. I. Ullah, M. Mubeen, and A. Hannan. 2017. Evaluation of fungicides and biopesticides for the control of *Fusarium* wilt of tomato. Pakistan Journal of Botany. 49: 769-774.
- Aroosa, K., A. Dliferoze, Z. U. Malik, A. Shoaib, and S. Khurshid. 2012. *In vitro* chemical control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *Lycopersici*. Mycopathologia. 10: 57-61.
- Brown, S., S. T. Koike, O. E. Ochoa, F. Laemmlen, and R. W. Michelmore, 2004. Insensitivity to the fungicide fosetyl-aluminum in California isolates of the lettuce downy mildew pathogen, *Bremia lactucae*. Plant Disease. 88: 502-508.
- Debbi, A., H. Boureghda, E. Monte, and R. Hermosa. 2018. Distribution and genetic variability of *Fusarium oxysporum* associated with tomato diseases in Algeria and a biocontrol strategy with indigenous *Trichoderma* spp. Frontiers in Microbiology. 9: 282.
- Devi, R., T. Kaur, D. Kour, K. L. Rana, A. Yadav, and A. N. Yadav. 2020. Beneficial fungal communities from different habitats and their roles in plant growth promotion and soil health. Microbial Biosystems. 5: 21-47.
- Elad, Y., and A. Kapat. 1999. The role of *Trichoderma harzianum* protease in the biocontrol of *Botrytis cinerea*. European Journal of Plant Pathology. 105: 177-189.
- Fuchs, J. G., Y. Moënné-Loccoz, and G. Défago. 1999. Ability of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 to protect tomato against *Fusarium* wilt. Biological Control. 14: 105-110.
- Görtz, A., E. C. Oerke, T. Puhl, and U. Steiner. 2012. Effect of environmental conditions on plant growth regulator activity of fungicidal seed treatments of barley. Journal of Applied Botany and Food Quality. 82: 60-68.
- Gullino, M. L., F. Tinivella, A. Garibaldi, G. M. Kemmitt, L. Bacci, and B. Sheppard. 2010. Mancozeb: past, present, and future. Plant Disease. 94: 076-1087.
- Kim, J., and J. D. Kim. 2008. Inhibitory effect of algal extracts on mycelial growth of the tomato-wilt pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Mycobiology. 36: 242-248.
- McQuilken, M.P. and J. Gemmell, 2004. Enzyme production by the mycoparasite *Verticillium biguttatum* against *Rhizoctonia solani*. Mycopathologia. 157: 201-205.
- Ramezani, H. 2009. Efficacy of fungal and bacterial bioagents against *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri* on chickpea. Plant Protection Journal. 1: 108-113.
- Roncero, M. I. G., C. Hera, M. Ruiz-Rubio, F. I. G. Maceira, M. P. Madrid, Z. Caracuel, F. Calero, J. D. Jarana, R. R. Rodriguez, A. L. M. Rocha, C. Velasco, J. Roa, M. M. Urdirroz, D. Córdoba, and A. D. Pietro. 2003. *Fusarium* as

a model for studying virulence in soilborne plant pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 62: 87-98.

Rodriguez, R., J. Jr. White, A. Arnold, and R. Redman. 2009. Fungal endophytes: Diversity and functional roles. *New Phytologist*. 182: 314-330.

Sahar, P., S. T. Sahi, A. Jabbar, A. Rehman, K. Riaz, and A. Hannan. 2013. Chemical and biological management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae*. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 25: 155-159.

Sivakumar, T., P. Balabaskar, and K. Sanjeevkumar. 2018. Variability in *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causing wilt of tomato. *International Journal of Chemical Studies*. 6: 3655-3659.

Sreeja, K., M. Anandaraj, and R. S. Bhai. 2019. Colonization and plant growth promotion in somatic embryo derived black pepper plants by fungal endophytes. *Journal of Global Biosciences*. 8: 6525-6539.

Srivastava, R., A. U. S. Singh, and A. K. Sharma, 2010. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungus, fluorescent *Pseudomonas* and *Trichoderma harzianum* formulation against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for the management of tomato wilt. *Biological Control*. 53: 24-31.

Song, W., L. Zhou, C. Yang, X. Cao, L. Zhang, and X. Liu. 2004. Tomato *Fusarium* wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*. 23: 243-247.

Sundaramoorthy, S., and P. Balabaskar. 2013. Biocontrol efficacy of *Trichoderma* spp. against wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 1: 36-40.

Taskeen, U. N., W. A. Bhat, M. Y. Pala, S. A. and R. A. Mir. 2011. *In vitro* inhibitory effect of fungicides and botanicals on mycelial growth and spore germination of *Fusarium oxysporum*. *Journal of Biopesticides*. 4: 53-56.