วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

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] *สาขากีฏวิทยาและโรคพืชวิทยา 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

Received: date; November 4, 2020 Accepted: date; December 7, 2020 Published: date August 5, 2021

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 มะเขือเทศนอกจากนิยมรับประทานผลสดแล้ว 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 ซึ่งทำให้ส่งผลต่อจำนวนต้นที่จะนำไปปลูกในแปลงปลูก การคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมโรคของเมล็ดพันธุ์ (Kim and Kim, 2008) ซึ่งการเลือกใช้สารเคมีต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคและไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราอาจทำให้เชื้อราเกิดการต้านทานต่อสารเคมี และทำให้เกิดเชื้อราสาเหตุโรคสายพันธุ์ใหม่ที่มีความสามารถในการก่อโรครุนแรงยิ่งขึ้น (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 × 100 เมื่อ C = รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีควบคุม และ T = รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีทดสอบ ทำการศึกษากิจกรรมการยับยั้ง (antagonistic activities) ดังนี้ 1) การครอบครองพื้นที่ (Competition: C) โดยปลายเส้นใยของเชื้อราเจริญชนกัน 2) การเป็นปรสิต (Mycoparasite: M) โดยแบ่งเป็น M1 และ M2 คือการเจริญทับเชื้อราสาเหตุโรคเพียงบางส่วน 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 × 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 ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค เปอร์เซ็นต์การงอกของรากและลำต้น และความสูงของลำต้น

3.2 ทดสอบการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนทดลอง

นำเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่เตรียมได้จากข้างต้นมาทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนทดลอง โดยเพาะเมล็ดในถาดเพาะที่ใช้พีทมอสผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเป็นวัสดุเพาะ ทดสอบกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 60 เมล็ด หลังจากเพาะเมล็ดเป็นเวลา 30 วัน ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคจากสูตร (จำนวนต้นที่เกิดโรค/จำนวนต้นทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ) x 100 และทำการประเมินระดับความรุนแรงโรค (disease severity score) โดยดัดแปลงจาก 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
Daldinia eschscholtzii FL11	13.4 + 2.0 (M1) c	100.0 + 0.0 (M2) a
Daldinia eschscholtzii K12	14.5 + 0.0 (M1) c	100.0 + 0.0 (M2) a
Trichoderma harzianum GR03	52.1 + 0.0 (C) a	84.2 + 13.7 (C) b
Trichoderma ghanense 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 (± = standard deviation).

[2/] DAI = day after inoculation of pathogen

[3/] Antagonistic activities, C= competition, M1= Partial mycoparasite and M2 = Complete mycoparasite

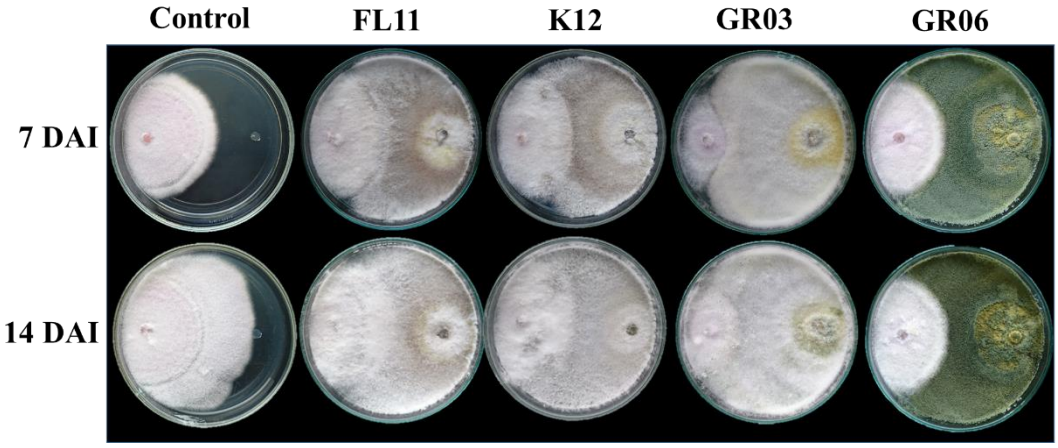

Figure 1 Growth inhibition of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* by *Daldinia eschscholtzii* FL11, *Daldinia eschscholtzii* K12, *Trichoderma harzianum* GR03 and *Trichoderma ghanense* GR06, (DAI: days after inoculation, right: pathogen and left: antagonist)

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

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดเชื้อราต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* พบว่า สารเคมี carbendazim, benomyl, mancozeb และ prochloraz สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้ 100% และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (*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 ในขณะที่มีรายงานการเกิดความต้านทานสารเคมี

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 (± 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 มีเปอร์เซ็นต์การงอกรากและการงอกลำต้นอยู่ในช่วง 90.7% - 99.3% โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่มีเชื้อราสาเหตุโรคที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกรากและการงอกลำต้นเท่ากับ 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
Daldinia FL11	10.7 ± 4.9 d	90.7 ± 3.8 a	90.7 ± 3.8 a	43.0 ± 2.0 ab
Daldinia K12	8.0 ± 2.0 d	91.7 ± 3.5 a	91.7 ± 3.5 a	38.7 ± 2.5 bcd
Trichoderma GR03	83.3 ± 3.1 b	29.3 ± 1.2 c	29.3 ± 1.2 c	35.0 ± 0.0 cdef
Trichoderma 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)

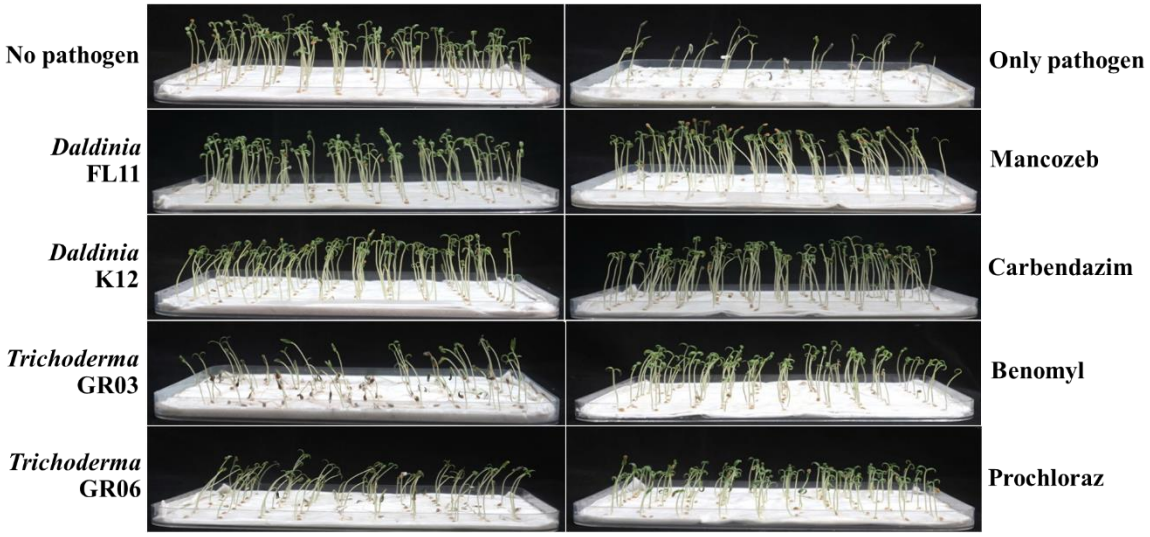

Figure 2 Effect of tomato seed treatment with antagonistic fungi and fungicides on control of seed disease caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*

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 มีความความยาวรากอยู่ในช่วง 9.5-12.1 ซม. ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) จากเมล็ดที่ไม่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคและปลูกเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรค

ดังนั้นจากการทดสอบการควบคุมโรคทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลองพบว่า 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 การรองก้นหลุมด้วยข้าวฟ่างที่มีเชื้อรา *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
Daldinia 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
Daldinia 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
Trichoderma 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
Trichoderma 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 (± 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 จิตสุวรรณรักษ์ และ อนันต์ วงเจริญ. 2559. ผลของเชื้อราเอนโดไฟต์ต่อการควบคุมโรคไหม้ของข้าว (*Oryza sativa* L.). แก่นเกษตร.44(ฉบับพิเศษ 1): 232-23.

กานต์ จิตสุวรรณรักษ์ และ อนันต์ วงเจริญ. 2560. ประสิทธิภาพของราเอนโดไฟต์และสารเคมีต่อการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคข้าว (*Oryzae sativa* L.). ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13 วันที่ 21 – 23 พฤศจิกายน 2560.

ทักษิณา ผุดผาด ชุตินันท์ ชูสาย และ อนันต์ วงเจริญ. 2559ก. การควบคุมโรคใบจุดนูนและใบจุดก้างปลาของกล้ายางพารา (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) โดยชีววิธีด้วยการใช้เชื้อ *Trichoderma* spp. แก่นเกษตร. 44(ฉบับพิเศษ 1): 225-231.

ทักษิณา ผุดผาด ชุตินันท์ ชูสาย และ อนันต์ วงเจริญ. 2559ข. ประสิทธิภาพของสารเคมีและเชื้อราเอนโดไฟต์ *Trichoderma* spp. ต่อการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคของยางพารา (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg). แก่นเกษตร. 44(ฉบับพิเศษ 1): 953-959.

วราภรณ์ บุญเกิด จีรนันท์ แหนมสูงเนิน และ นัฐธิภรณ์ เดชบุรัมย์. 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 ปิยะนันทพงศ์ อลงกรณ์ สุริโย และพชรมน เล็บสิงห์. 2562. ประสิทธิภาพของเชื้อ *Daldinia eschscholtzii* ในการควบคมโรคเหี่ยวของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อ *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. Moënne-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. Urdiroz, D. Co´rdoba, 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.