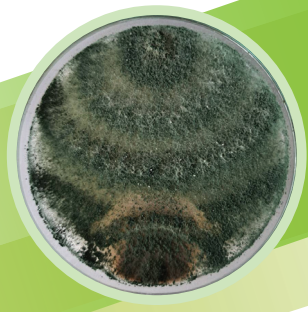
โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา:
การควบคุมด้วยสารเคมีและเชื้อราปฏิปักษ์

Plant Diseases Caused by Fungi: Controlling by Chemicals and Antagonistic Fungi











ธิดา เดชฮวบ

ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา: การควบคุมด้วยสารเคมีและเชื้อราปฏิปักษ์

(Plant Diseases Caused by Fungi: Controlling by Chemicals and Antagonistic Fungi)

ธิดา เดชฮวบ

ภาควิชาโรคพืช

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2569 (ฉบับปรับปรุง)

โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา: การควบคุมด้วยสารเคมีและเชื้อราปฏิปักษ์

พิมพ์ครั้งที่ 1: สิงหาคม พ.ศ. 2569 (ฉบับปรับปรุง)

สงวนลิขสิทธิ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ธิดา เดชฮวบ.

โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา: การควบคุมด้วยสารเคมีและเชื้อราปฏิปักษ์.—
กรุงเทพฯ : เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, 2569.
379 หน้า.

1. โรคพืช -- การป้องกันและควบคุม. 2. โรคเกิดจากเชื้อราในพืช. I.ชื่อเรื่อง.

632.4
ISBN 978-616-637-049-2

พิมพ์ที่:

บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด
158/3 ซอยยาสูบ 1 ถนนวิภาวดีรังสิต
แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2617-8611, 083-069-2557

จัดทำและจัดจำหน่ายโดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ธิดา เดชฮวบ
ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์มือถือ: 092-437-9991
E-mail: agrtdd@ku.ac.th

แด่บุพการี

“นิยม - โสภา เดชฮวบ”



คำนำ

หนังสือเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นโดยปรับปรุงจากการตีพิมพ์ครั้งที่ 1 เมื่อปี พ.ศ. 2567 โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคพืชที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจ โดยปรับเนื้อหาทั้งหมดให้เป็นเนื้อหาที่ทันสมัยสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและถูกต้องตามหลักวิชาการ มีข้อมูลตั้งแต่พื้นฐานของการเกิดโรคพืช ปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคพืช โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย รวมทั้งการป้องกันกำจัดโดยการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราและเชื้อราปฏิปักษ์ ซึ่งมีรายละเอียดของการจัดกลุ่มสารเคมีตาม Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) คุณสมบัติของสารและตัวอย่างการใช้ควบคุมโรคพืชแต่ละชนิด ในส่วนของการป้องกันกำจัดโรคพืชโดยเชื้อราปฏิปักษ์ มีรายละเอียดของกลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Trichoderma* และ *Talaromyces* ที่ใช้ควบคุมโรคและกรณีศึกษาในการใช้เชื้อรา *Trichoderma* และ *Talaromyces* ในการควบคุมโรคข้าวและโรคไม้ผล ซึ่งเป็นผลงานวิจัยในช่วงปี พ.ศ. 2560-2567 ในฐานะผู้เขียนเป็นหัวหน้าโครงการ ในโครงการ “การพัฒนาชีวภัณฑ์ราและยีสต์ทะเลปฏิปักษ์ชนิดใหม่ ในการควบคุมโรคของมะม่วงและทุเรียน (รหัสโครงการ N21A660498)” โครงการ “การพัฒนาชีวภัณฑ์ราชนิดใหม่ในการควบคุมโรคพืชเศรษฐกิจ (รหัสโครงการ N41A640083) ” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้ในหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน นิสิตนักศึกษาและผู้ที่สนใจ หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ธิดา เดชฮวบ

กรกฎาคม 2569

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**โรคพืชและการเกิดโรคพืช**	**1**
	1.1 เชื้อสาเหตุโรคพืชและความสามารถในการเกิดโรค	3
	1.2 วัฏจักรการเกิดโรคพืช	5
	1.2.1 ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืช	6
	1.2.2 การยึดเกาะของเชื้อสาเหตุโรคพืช	7
	1.2.3 การงอกของสปอร์และการรับรู้ของพืชอาศัย	8
	1.2.4 การเจาะเข้าเซลล์พืช	12
	1.2.5 การเข้าทำลาย	13
	1.2.6 ระยะลุกลาม	14
	1.2.7 การเจริญและสร้างส่วนขยายพันธุ์	16
	1.2.8 การแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคพืช	16
	1.2.9 การอยู่ข้ามฤดู	17
	1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรของโรคพืชและการแพร่ระบาด	18
	1.4 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา	19
	1.5 ผลกระทบจากการเข้าทำลายของเชื้อรา	20
	1.5.1 การสังเคราะห์แสง	20
	1.5.2 ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์	21
	1.5.3 ยับยั้งสารต้านเชื้อราที่สร้างโดยพืช	23
	1.5.4 ย่อยสลายอาร์เอ็นเอของพืชอาศัย	23
	1.6 อาการของโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา	24
	1.7 บทสรุป	27
	1.8 เอกสารอ้างอิง	28
2	**โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Cercozoa, Oomycota และ Zygomycota**	**31**
	2.1 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Phytomyxea	32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.1.1 โรครากบวมของพืชตระกูลกะหล่ำ	32
	2.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Oomycetes	35
	2.2.1 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium*	36
	2.2.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อ *Phytophthora*	40
	2.2.2.1 โรคใบไหม้ของมันฝรั่ง	42
	2.2.2.2 โรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน	44
	2.3 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Peronosporomycetes	46
	2.3.1 โรคราน้ำค้างขององุ่น	47
	2.4 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Zygomycota	51
	2.4.1 โรคเน่าเละของผัก ผลไม้ที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizopus*	51
	2.5 บทสรุป	55
	2.6 เอกสารอ้างอิง	56
3	**โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Ascomycota**	**61**
	3.1 โรคราแป้ง	63
	3.1.1 โรคราแป้งขาวของพืชตระกูลแตง	66
	3.2 โรคทางใบที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Ascomycota	68
	3.2.1 โรคราดำ	69
	3.2.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria*	70
	3.2.3 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Pseudocercospora*	73
	3.2.4 โรคที่เกิดจากเชื้อรา *Bipolaris*	75
	3.2.4.1 โรคใบไหม้ของข้าวโพด	75
	3.2.4.2 โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว	77
	3.2.5 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia*	78
	3.3 โรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum*	82
	3.3.1 โรคแอนแทรคโนสของมะม่วง	83
	3.4 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium*	86
	3.4.1 โรคเหี่ยวของกล้วย	86

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4.2 โรคกิ่งแห้งของทุเรียน	88
	3.5 โรคเมล็ดด่างของข้าว	90
	3.6 โรคดอกกระถินของข้าว	92
	3.7 บทสรุป	95
	3.8 เอกสารอ้างอิง	97
4	**โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota**	**102**
	4.1 โรคราสนิม	102
	4.1.1 โรคราสนิมของข้าวโพด	104
	4.2 โรคราเขม่าดำ	107
	4.2.1 โรคเขม่าดำของข้าวโพด	108
	4.2.2 โรคแส้ดำในอ้อย	110
	4.3 โรครากและลำต้นเน่าที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota	113
	4.3.1 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia*	113
	4.3.1.1 โรคกาบใบแห้งของข้าว	115
	4.3.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Agroathelia*	117
	4.3.3 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Ganoderma*	120
	4.4 บทสรุป	123
	4.5 เอกสารอ้างอิง	124
5	**การจัดแบ่งกลุ่มและคุณสมบัติของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม FRAC**	**128**
	5.1 รูปแบบของสารเคมี	130
	5.2 ความเสี่ยงที่สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราจะส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชพัฒนาการดื้อยา	132
	5.3 การแบ่งกลุ่มสารเคมีโดยกลไกการออกฤทธิ์	134
	5.3.1 กลุ่ม A สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิค	134

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	5.3.2 กลุ่ม B สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของโปรตีนในส่วนไซโตสเกเลตันและมอเตอร์	138
	5.3.3 กลุ่ม C สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการหายใจ	143
	5.3.4 กลุ่ม D สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน	152
	5.3.5 กลุ่ม E สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณเข้าสู่เซลล์	154
	5.3.6 กลุ่ม F สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์หรือเคลื่อนย้ายไขมัน/ ส่งผลต่อความสมบูรณ์หรือหน้าที่ของเมมเบรน	158
	5.4 บทสรุป	161
	5.5 เอกสารอ้างอิง	163
6	**คุณสมบัติของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม FRAC G-M**	**168**
	6.1 กลุ่ม G: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งชีวสังเคราะห์สเตอรอลในพลาสมาเมมเบรน	168
	6.1.1 กลุ่มอิมิดาโซล	169
	6.1.2 กลุ่มไตรเอโซล	169
	6.2 กลุ่ม H: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งชีวสังเคราะห์การสร้างผนังเซลล์	175
	6.3 กลุ่ม I: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์เมลานินในผนังเซลล์	177
	6.4 กลุ่ม P: สารที่มีคุณสมบัติชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน	178
	6.5 กลุ่ม U: สารที่ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืช	181
	6.6 กลุ่ม M: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุดในเซลล์เชื้อสาเหตุโรคพืช	183
	6.7 บทสรุป	187
	6.8 เอกสารอ้างอิง	188

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
7	**เชื้อราปฏิปักษ์ควบคุมโรคพืช**	**192**
	7.1 การแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหาร	192
	7.2 สภาวะของการเป็นปรสิต	196
	7.3 การสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ	198
	7.4 การชักนำให้เกิดความต้านทาน	200
	7.5 การแยกเชื้อราปฏิปักษ์	202
	7.5.1 การแยกเชื้อราจากดินโดยวิธี soil plate technique	202
	7.5.2 การแยกเชื้อราโดยวิธีเจือจาง	203
	7.5.3 การแยกเชื้อราจากผิวใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method	203
	7.5.4 การแยกเชื้อราที่เจริญในเนื้อเยื่อใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method	204
	7.5.5 การแยกเชื้อราโดยใช้ความร้อน	205
	7.5.6 การแยกเชื้อราโดยใช้แอลกอฮอล์	205
	7.6 การจัดจำแนกชนิด	205
	7.6.1 การจัดจำแนกชนิดของเชื้อราโดยเทคนิคพีซีอาร์และการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์	206
	7.7 การทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์	209
	7.7.1 การทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ภายใต้ห้องปฏิบัติการ	209
	7.7.1.1 ทดสอบคุณสมบัติการแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหารโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน	209
	7.7.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากเชื้อราปฏิปักษ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช	211
	7.7.2 การทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ในโรงเรือนปลูกพืชทดลอง	217
	7.7.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในแปลงปลูก	219
	7.8 บทสรุป	221
	7.9 เอกสารอ้างอิง	222

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
8	**เชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* species**	**229**
	8.1 กลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Talaromyces* spp.	233
	8.1.1 การแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหาร	233
	8.1.2 สภาวะของการเป็นปรสิต	234
	8.1.3 การสร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์	234
	8.1.4 การสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	236
	8.1.5 การชักนำให้พืชต้านทาน	238
	8.2 กรณีศึกษาการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการป้องกันกำจัดโรคข้าว	242
	8.2.1 โรคกาบใบแห้ง	243
	8.2.2 โรคดอกกระถิน	246
	8.2.3 โรคใบจุดสีน้ำตาล	249
	8.2.4 โรคใบไหม้และไหม้คอรวง	253
	8.2.5 โรคเมล็ดด่าง	257
	8.3 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคของยางพารา	267
	8.3.1 โรคใบร่วง	267
	8.3.2 โรคใบจุดก้างปลา	272
	8.4 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพด	278
	8.5 การพัฒนารูปแบบชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Trichoderma*	284
	8.6 บทสรุป	292
	8.7 เอกสารอ้างอิง	294
9	**เชื้อราปฏิปักษ์ *Talaromyces* species**	**306**
	9.1 กลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Talaromyces* spp.	307
	9.2 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคข้าว	311
	9.2.1 โรคเมล็ดด่าง	311

สารบัญ (ต่อ)

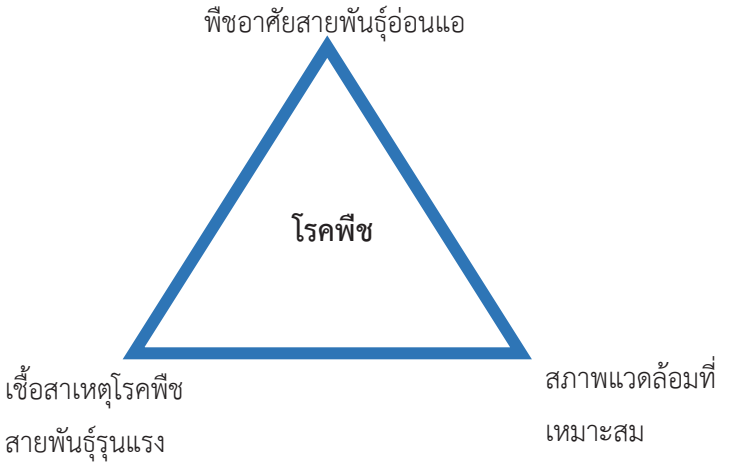
บทที่		หน้า
	9.2.2 โรคใบไหม้	327
	9.2.3 โรคใบจุดสีน้ำตาล	329
	9.3 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคไม้ผล	331
	9.4 การพัฒนาชีวภัณฑ์	352
	9.5 บทสรุป	360
	9.6 เอกสารอ้างอิง	362
ดัชนี		**368**

บทที่ 1
โรคพืชและการเกิดโรคพืช (Plant Disease and Disease Occurrence)

โรคพืชคือการที่พืชมีอาการที่ผิดปกติไปจากต้นปกติหรือมีอาการของโรคปรากฏที่ส่วนต่างๆ ของพืช โรคพืชสามารถเกิดจากสิ่งมีชีวิตเข้าทำลายได้แก่จุลินทรีย์ต่างๆ และเกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในต้นพืชหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เชื้อสาเหตุโรคพืชที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตจะจัดอยู่ในกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กได้แก่เชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส ไส้เดือนฝอย ซึ่งเชื้อเหล่านี้สามารถเข้าทำลายต้นพืช เจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณในและบนผิวพืชอาศัยได้ (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018) นอกจากนี้ยังสามารถสร้างส่วนขยายพันธุ์แพร่กระจายจากต้นที่เป็นโรคไปยังต้นที่ปกติ มีการพัฒนาของโรคไปสู่การแพร่ระบาดขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่เป็นวงกว้างได้ โดยการเกิดโรคพืชจากเชื้อจุลินทรีย์นั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากเชื้อราที่มีกระบวนการเข้าทำลายพืชหลายกระบวนการจนกระทั่งพืชเป็นโรคและเชื้อสร้างสปอร์ (spore) หรือส่วนขยายพันธุ์ต่างๆ แพร่กระจายออกไป ซึ่งความรุนแรงของโรคพืชจะขึ้นกับสามปัจจัยหลักเรียกว่าสามเหลี่ยมโรคพืช ประกอบด้วยเชื้อสาเหตุโรคพืชสายพันธุ์ที่รุนแรง พืชอาศัยสายพันธุ์อ่อนแอ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการก่อโรค (ภาพที่ 1.1) (Marchand *et al*., 2020; Vitale, 2022)

โดยการเกิดโรคพืชทั้งที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชทั้งปริมาณและคุณภาพ ดังนั้นการป้องกันกำจัดการเกิดโรคพืชต้องทราบองค์ประกอบของการพัฒนาการเกิดโรคพืช ลักษณะและการดำรงชีวิตของเชื้อสาเหตุโรคที่จะนำไปสู่การวินิจฉัยอาการผิดปกตินี้ว่าเกิดจากสาเหตุอะไรและนำไปสู่วิธีการป้องกันกำจัดที่ถูกต้องซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว ยังมีหลายวิธีที่ช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช ซึ่งการพัฒนาการเกิดโรคพืชจะเกิดขึ้นจากการที่เชื้อสาเหตุโรคพืชสายพันธุ์รุนแรงและพืชอ่อนแอมีปฏิสัมพันธ์กันภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งเป็นสามปัจจัยหลักในการเกิดโรคพืช ถ้าปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อความรุนแรงในการเกิดโรค เช่น สายพันธุ์พืชที่มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อ

สาเหตุโรคได้แตกต่างกัน เชื้อสาเหตุโรคที่เข้าทำลายเป็นสายพันธุ์ที่รุนแรงหรือไม่รุนแรง และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมส่งผลต่อการเจริญของเชื้อรา เช่น ความชื้น ลม น้ำ ฝน เป็นต้น (Burchett and Burchett, 2018; Marchand *et al*., 2020; Singh *et al*., 2023)



ภาพที่ 1.1 สามเหลี่ยมโรคพืชที่ประกอบด้วยสามปัจจัยในการก่อโรคพืชได้แก่ พืชอาศัยที่อ่อนแอ เชื้อสาเหตุโรคพืชที่รุนแรงและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม
ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

ถ้าพืชเป็นพันธุ์ต้านทาน พืชอายุมาก ต้นโตแข็งแรง มีระยะปลูกห่างๆ กัน มีการไหลเวียนของอากาศและลมได้ดี เชื้อสาเหตุโรคพืชจะเข้าทำลายได้น้อยและมีการระบาดของโรคต่ำ แต่ถ้าพืชเป็นสายพันธุ์อ่อนแอ มีการปลูกพืชหนาแน่นจะส่งผลให้เชื้อเข้าทำลายได้ง่าย มีความรุนแรงของโรคมากขึ้น ส่วนสภาพอากาศทั้งความชื้น อุณหภูมิ ลมจะช่วยในการส่งเสริมการงอกของส่วนขยายพันธุ์ การเจริญเติบโต การเข้าทำลาย การสร้างส่วนขยายพันธุ์และแพร่กระจาย (Agrios, 2005; Vitale *et al*., 2022)

นอกจากนี้ในกระบวนการเข้าทำลายพืชยังมีหลายกระบวนการตั้งแต่การมาถึงของส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืช ความสามารถในการเข้าทำลายพืช การตอบสนองของพืชอาศัย การพัฒนาการเกิดโรคพืช การสร้างส่วนขยายพันธุ์และแพร่กระจายเป็นวัฏจักรการเกิดโรคพืช (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Singh *et al*., 2023)

1.1 เชื้อสาเหตุโรคพืชและความสามารถในการเกิดโรค (Plant Pathogen and Pathogenicity)

เชื้อสาเหตุโรคพืชชนิดเดียวกันจะมีหลายสายพันธุ์ซึ่งจะมีความสามารถในการเข้าทำลายพืชที่แตกต่างกัน เชื้อที่สามารถก่อโรคในพืชได้คือเชื้อที่สามารถอาศัยบนและในพืชอาศัย สามารถดูดซึมสารอาหารจากพืชอาศัยได้เรียกว่าเป็นเชื้อปรสิต โดยการดูดซึมสารอาหารจากพืชอาศัยโดยเชื้อปรสิตเรียกว่ากระบวนการปรสิต (parasitism) นอกจากนี้เชื้อสาเหตุโรคพืชเหล่านี้ยังสามารถเจริญและเพิ่มปริมาณได้ในพืช การที่เชื้อสาเหตุโรคพืชดูดซึมสารอาหารจากพืชนั้นจะส่งผลลดประสิทธิภาพในการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิตและการขยายพันธุ์ของพืช (Dean *et al*., 2012; Nazarov *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020) ซึ่งความรุนแรงของการเข้าทำลายพืชจะขึ้นกับความรุนแรงของเชื้อสาเหตุโรคพืช เช่น เชื้อสายพันธุ์รุนแรงจะมีความสามารถในการเกิดโรคและความสามารถในการเข้าทำลายพืช รวมทั้งเจริญในพืชได้ดีกว่าสายพันธุ์ที่ไม่รุนแรง อาการของโรคพืชจะเกิดจากการดูดซึมสารอาหารจากเชื้อสาเหตุโรคพืชและจากสารต่างๆ ที่หลั่งออกมาทั้งจากเชื้อสาเหตุโรคพืชและสารที่พืชอาศัยหลั่งออกมาเพื่อตอบสนองของพืชต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Agrios, 2005) นอกจากนี้การเกิดโรคพืชนั้นจะเกิดจากความสามารถของเชื้อสาเหตุโรคพืชที่ส่งผลต่อกระบวนการต่างๆ ในพืชซึ่งอาจจะหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งกระบวนการในพืชส่งผลให้เซลล์พืชตาย เหี่ยว เปลี่ยนสี มีการแบ่งเซลล์และเพิ่มขนาดเซลล์ การแตกและแยกของเซลล์ ลดส่วนประกอบของเซลล์ เช่น คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ปรากฏให้เห็นเป็นอาการผิดปกติบนส่วนต่างๆ ของพืช เช่น รากเน่าโคนเน่า ใบจุด ใบไหม้ ยอดไหม้ ผลจุด เป็นต้น (Agrios, 2005; Nazarov *et al*., 2020; Vitale *et al*., 2022)

เชื้อสาเหตุโรคพืชนั้นจะมีการเข้าทำลายพืชและดำรงชีวิตได้หลายแบบขึ้นกับเชื้อแต่ละชนิด โดยเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคราแป้ง ราน้ำค้าง และราสนิม จะสามารถเจริญเติบโตสร้างเส้นใยและสร้างส่วนขยายพันธุ์ได้เฉพาะในพืชอาศัยที่มีชีวิตเรียกการดำรงชีวิตแบบนี้ว่าไบโอโทรฟ (biotroph) และเรียกเชื้อสาเหตุโรคพืชที่มีการดำรงชีวิตในรูปแบบนี้ว่าเป็นเชื้อปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต (obligate parasite) (Singh, 2017; Nazarov *et al*., 2020) ขณะที่เชื้อสาเหตุโรคพืชชนิดอื่นที่สามารถเจริญได้ทั้งในพืชอาศัย

ที่มีชีวิตและเศษซากพืชโดยดูดซึมสารอาหารได้ทั้งจากพืชอาศัยและเศษซากพืชจะเรียกโดยรวมว่าเป็นเชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต (nonobligate parasite) โดยเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต และเชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต จะมีความแตกต่างกันในการเข้าทำลายพืชและดูดซึมสารอาหารจากพืชที่แตกต่างกัน โดยเชื้อที่เป็นปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต จะหลั่งเอนไซม์และสารพิษเพื่อย่อยสลายผนังเซลล์ ส่งผลให้เซลล์พืชสลายตัวและตาย จากนั้นจะดูดส่วนประกอบของเซลล์พืชเป็นอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่เชื้อปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิตจะไม่หลั่งสารเพื่อฆ่าเซล์พืชแต่จะค่อยๆ ดูดซึมสารอาหารจากเซลล์พืชโดยตรง (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Tronsmo *et al*., 2020)

เชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิดที่สามารถเจริญและดำรงชีวิตแบบปรสิตในพืชอาศัยที่มีชีวิตและสามารถเจริญในเศษซากพืชได้เมื่อพืชอาศัยได้ตายลงจะเรียกการดำรงชีวิตลักษณะนี้ว่าเซมิไบโอโทรฟ (semibiotroph) ในขณะที่เชื้อราบางชนิดที่ปกติอาศัยในเศษซากพืชโดยย่อยเศษซากพืชและดูดซึมสารอาหารจากเศษซากพืชเพื่อดำรงชีวิตเป็นหลักเรียกการดำรงชีวิตในลักษณะนี้ว่าเนโครโทรฟ (necrotroph) แต่ในบางโอกาสเชื้อสามารถเข้าทำลายพืชได้ จะเรียกเชื้อราในกลุ่มนี้ว่าเชื้อที่เป็นปรสิตแบบไม่ถาวร (facultative parasite) ในขณะที่เชื้อราที่ไม่เข้าทำลายพืช อาศัยในดินและย่อยสลายเศษซากพืชอย่างเดียวจะเรียกการดำรงชีวิตในลักษณะนี้ว่าแซโปรไฟต์ (saprophyte) (Vitale *et al*., 2022; Singh *et al*., 2023; Oliver, 2024)

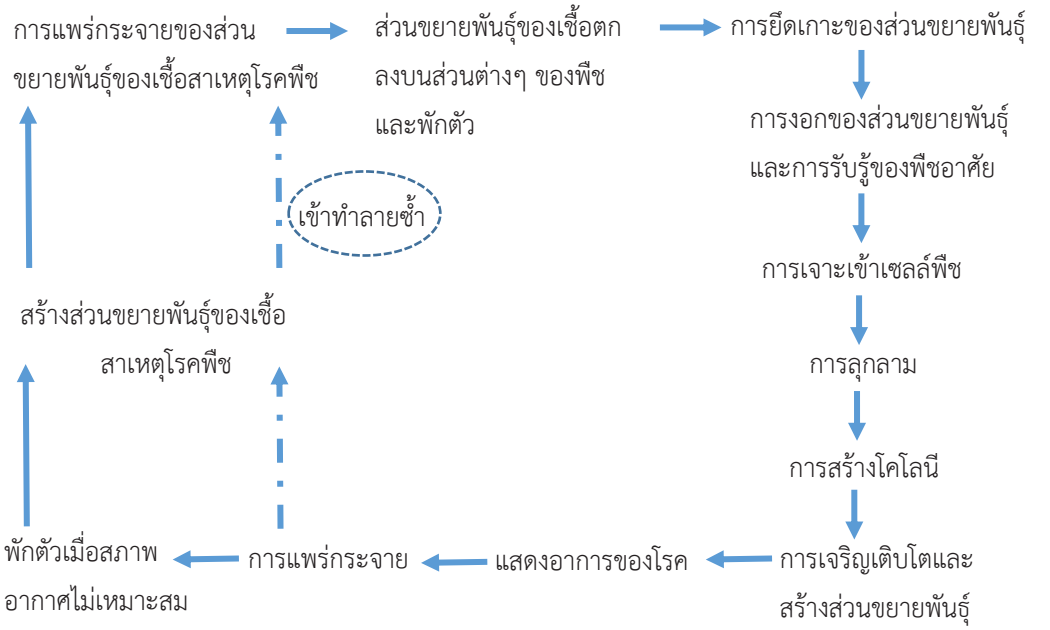
เชื้อสาเหตุโรคพืชแต่ละชนิดสามารถเข้าทำลายพืชอาศัยที่จำเพาะเจาะจง โดยจะเข้าทำลายส่วนต่างๆ ของพืชและอายุพืชอาศัยแตกต่างกัน บางชนิดเข้าทำลายพืชได้หนึ่งชนิด ขณะที่บางชนิดเข้าทำลายได้หลายชนิด บางชนิดเข้าทำลายเฉพาะรากหรือโคนต้น บางชนิดจะเข้าทำลายที่ใบ ผล หรือช่อดอกเท่านั้น หรือเข้าทำลายเฉพาะระบบท่อลำเลียงสารอาหารหรือท่อน้ำท่ออาหารเท่านั้น (Burchett and Burchett, 2018; Marchand *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020) อย่างไรก็ตามเชื้อบางชนิดอาจเข้าทำลายหลายส่วน

ในพืชต้นเดียวกันหรือเข้าทำลายในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน เช่น เข้าทำลายในระยะต้นกล้า ต้นอ่อน หรือต้นแก่ เชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต ส่วนใหญ่จะเข้าทำลายพืชอาศัยที่จำเพาะเจาะจง ขณะที่เชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิตจะเข้าทำลายราก ลำต้น ผล ในระยะต่างๆ ได้ทั้งนี้ขึ้นกับความอ่อนแอหรือความต้านทานของพืชอาศัย (Huckelhoven and Schouten, 2024; Oliver, 2024)

1.2 วัฏจักรการเกิดโรคพืช (Plant Disease Cycle)

ในวัฏจักรการเกิดโรคที่เกิดจากเชื้อสาเหตุโรคพืชจะมีกระบวนการต่างๆ ที่นำไปสู่การเกิดโรคในพืชอาศัย กระบวนการนี้จะเกิดต่อกันเป็นลูกโซ่เรียกว่าวัฏจักรการเกิดโรค ซึ่งมีรูปแบบใกล้เคียงกับวงจรชีวิต (life cycle) ของเชื้อสาเหตุโรคพืช เริ่มตั้งแต่การมาถึงของส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ เมื่อตกลงบนส่วนต่างๆ ของพืชจะเริ่มกระบวนการเข้าทำลาย มีการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุโรคพืชในพืชอาศัย การพัฒนาของโรคและการสร้างส่วนขยายพันธุ์เพื่อแพร่กระจายออกไป (Agrios, 2005; Marchand *et al*., 2020; Vitale, 2022)

ซึ่งวัฏจักรการเกิดโรคประกอบด้วยการที่ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ (inoculum) ตกลงบนส่วนต่างๆ ของพืชอาศัย การยึดเกาะบนผิวพืช (attachment) การจดจำระหว่างเชื้อสาเหตุโรคพืชและพืชอาศัย (host recognition) การเจาะเข้าทำลาย (penetration) การเข้าทำลายในระยะเริ่มต้น (establishment of infection) การเจริญสร้างโคโลนี (colonization) การเจริญเติบโต (growth) การสร้างส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ (reproduction of the pathogen) การแพร่กระจายของเชื้อ (dissemination) และการอยู่ข้ามฤดูของเชื้อสาเหตุโรค (survival of the pathogen) (ภาพที่ 1.2) (Burchett and Burchett, 2018; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024) โดยในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1.2 แสดงระยะต่างๆ ในวัฏจักรการเกิดโรคพืช
ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

1.2.1 ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Inoculum)

ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อได้แก่สปอร์ ซูโอสปอร์ (zoospore) สเคลอโรเตียม (sclerotium) เซลล์แบคทีเรีย เชื้อไวรัส ไส้เดือนฝอย หรือเส้นใยของเชื้อราตกลงบนใบพืช หรือส่วนต่างๆ ของพืชอาศัย ซึ่งส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อเหล่านี้อาจมากับลม ฝน หรือแมลง (Singh *et al*., 2017; Nazarov *et al*., 2020; Oliver, 2024) โดยเป็นส่วนขยายพันธุ์ที่สร้างโดยเชื้อที่เจริญอยู่ที่ต้นที่เป็นโรคหรือเชื้อที่อยู่ข้ามฤดูในช่วงสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และเมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมจะงอกและสร้างส่วนขยายพันธุ์เข้าทำลายพืช เรียกส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อที่เข้าทำลายต้นพืชและแปลงปลูกในช่วงเริ่มต้นของฤดูปลูกว่าส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อชุดแรก (primary inoculum) เมื่อส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อชุดแรกเข้าทำลายพืชจะเรียกว่าการเข้าทำลายพืชเริ่มแรก (primary infection)

ถ้าส่วนขยายพันธุ์เหล่านี้เข้าทำลายพืชและสร้างส่วนขยายพันธุ์เข้าทำลายพืชต่อในแปลงเดิมจะเรียกว่าส่วนขยายพันธุ์ชุดที่สอง (secondary inoculum) และเมื่อส่วน

ขยายพันธุ์ชุดที่สองเข้าทำลายพืชจะเรียกว่าการเข้าทำลายซ้ำหรือการเข้าทำลายซ้ำครั้งที่สอง (secondary infection) (Vitale, 2022) นอกจากนี้ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้ออาจมาจากเมล็ด ต้นกล้า หัว ที่มีเชื้อปนเปื้อนอยู่ รวมทั้งเชื้อสาเหตุโรคบางชนิดสามารถเจริญข้ามฤดูได้ในวัชพืช พืชอาศัยรองหรือพืชอาศัยสลับ (alternate host) ซึ่งจะเป็นแหล่งของเชื้อในการเข้าทำลายในฤดูปลูกต่อไป (Agrios, 2005; Nazarov *et al*., 2020; Spanu *et al*., 2024) อย่างไรก็ตามเชื้อราสาเหตุโรคพืชส่วนใหญ่สามารถสร้างสปอร์ที่ปลิวได้ง่ายโดยลมไหลไปกับน้ำหรือติดไปกับแมลงแต่จะมีเพียงจำนวนเล็กน้อยตกลงบนใบพืชอาศัย ส่วนซูโอสปอร์เป็นส่วนขยายพันธุ์ที่สามารถว่ายน้ำได้ในระยะสั้น โดยจะสามารถรับรู้สารที่พืชอาศัยหลั่งออกมา เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโน (amino acid) เมื่อรับรู้แล้วจะว่ายน้ำเข้าหารากพืชหรือโคนต้นพืชได้ เซลล์แบคทีเรียจะสามารถแพร่กระจายโดยน้ำ หรือขาแมลง ขณะเชื้อไวรัสสามารถแพร่กระจายโดยแมลงพาหะ เป็นต้น เมื่อส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อตกลงบนใบพืชแล้ว จะยังไม่เจาะเข้าทำลายพืชทันทีจะเข้าสู่การพักตัวระยะสั้นก่อนทำการยึดเกาะและเข้าทำลาย (Agrios, 2005; Marchand *et al*., 2020; Del Ponte and Mizubuti, 2024)

1.2.2 การยึดเกาะของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Attachment of Plant Pathogen)

เมื่อส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อตกลงบนใบหรือส่วนต่างๆ ของพืชจะพักตัว เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะทำการยึดเกาะ เช่น สปอร์ของเชื้อราจะมีการสร้างสารเหนียว (mucilaginous) ที่หลั่งออกมาจากปลายสปอร์ที่ตกลงบนพืช ซึ่งจะช่วยให้สปอร์ยึดเกาะบนใบพืชได้แน่นเพื่อป้องกันผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เช่น ลม ฝน หรือลดผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเกาะของสปอร์ สารเหนียวเหล่านี้จะมีส่วนประกอบของโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) และไขมัน (lipid) (Tronsmo *et al*., 2020; Spanu *et al*., 2024) เมื่อมีความชื้นจะยิ่งเหนียวช่วยให้สปอร์ยึดติดกับผิวใบได้แน่นขึ้น โดยใช้ความชื้นในสปอร์เอง ความชื้นจากอากาศ น้ำค้าง หรือน้ำที่เคลือบที่ผิวใบจะช่วยให้การสร้างสารเหนียวที่ปลายสปอร์หลั่งออกมาอย่างรวดเร็ว และสามารถเกาะกับผิวพืชที่เคลือบด้วยแว็กซ์ (wax) ได้ รวมทั้งป้องกันไม่ให้สปอร์ปลิวหรือไหลไปบนผิวพืชเมื่อมีน้ำไหลผ่าน ในขณะที่สปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคราแป้งจะไม่ต้องการน้ำในการยึดเกาะแต่เชื้อจะสามารถหลั่งเอนไซม์คิวติเนส (cutinase)

ที่ช่วยทำให้สปอร์ยึดติดกับผิวพืชมากยิ่งขึ้น (Nazarov *et al*., 2020; Gover, 2024) อย่างไรก็ตามกลไกการเกาะของส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อยังไม่ทราบแน่ชัด ซึ่งน่าจะมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อและพืชอาศัยผ่านสารประกอบของไขมัน เลซิติน (lecithin) หรือสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic compound) ที่ชั้นคิวติเคิลที่ผิวใบ (Agrios, 2005; Nazarov *et al*., 2020)

1.2.3 การงอกของสปอร์และการรับรู้ของพืชอาศัย (Spore Germination and Host Recognition)

การที่ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ เช่นสปอร์สัมผัสกับผิวพืช การสูญเสียน้ำ การดูดซับสารโมเลกุลต่ำและสารอาหารจากผิวพืช รวมทั้งเอนไซม์ต่างๆ โดยเฉพาะเอนไซม์คิวติเนสต่างๆ ของพืช ส่งผลให้มีการส่งสัญญาณให้สปอร์งอกโดยการสร้างท่อเจริญ (germ tube) เจริญยืดออกและสร้างโครงสร้างต่างๆ เพื่อเข้าทำลายพืช (Singh, 2017; Tronsmo *et al*., 2020; Ray, 2024) นอกจากนี้สปอร์ยังมีกลไกที่ป้องกันไม่ให้งอกเมื่อมีสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมหรือมีสปอร์จำนวนมากในบริเวณใกล้เคียง โดยภายในสปอร์จะมีการสะสมสารอาหาร เช่น ไขมันต่างๆ และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ผนังเซลล์และสร้างท่อเจริญจากสปอร์ เมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสปอร์จะสร้างท่อเจริญสั้นๆ ต่อมาจะมีการสร้างแอพเพรสโซเรียม (appressorium) ที่ปลายของท่อเจริญซึ่งท่อเจริญจะมีการรับรู้จดจำกับพืชอาศัยถ้าไม่ใช่พืชอาศัย ท่อเจริญจะหยุดการเจริญ แต่ถ้าได้รับสัญญาณทางชีวภาพและเคมีที่รับรู้ได้ว่าเป็นพืชอาศัยจะเจริญตามปกติ ในขณะที่เชื้อราบางชนิดเมื่องอกแล้วจะสร้างท่อเจริญ และโครงสร้างที่ใช้เข้าทำลายพืชโดยเฉพาะเรียกว่าฮอสโตเรียม (haustorium) (Agrios, 2005; Oliver, 2024)

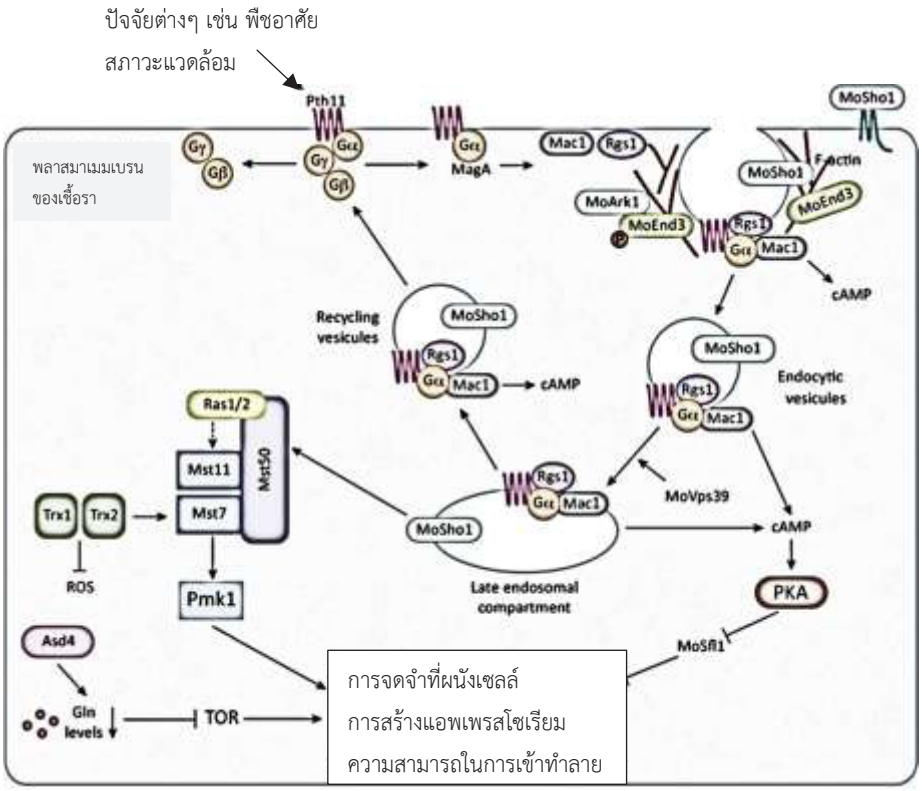
ในส่วนของพืชจะมีรูปแบบการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด เมื่อพืชอาศัยรับรู้การยึดเกาะของเชื้อสาเหตุโรคพืชจะมีการตอบสนองต่อการเข้าทำลายของเชื้อ เช่น การสร้างโครงสร้างต่างๆ ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำที่ผิวพืชให้มากกว่าปกติเพื่อยับยั้งการสร้างแอพเพรสโซเรียมและการยึดเกาะของสปอร์บนผิวพืช จะพบลักษณะของคิวติเคิลและผนังเซลล์ของพืชเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งตอบสนอง

ต่อเอนไซม์หรือสารต่างๆ ที่เชื้อสาเหตุโรคพืชผลิตออกมา ในขณะที่เชื้อราเมื่อได้รับสัญญาณจากภายนอกจะรับรู้ได้ผ่านพลาสมาเมมเบรน (plasma membrane) และกระบวนการ 3′,5′-ไซคลิก อะดีโนซีน โมโนฟอสเฟต (3′,5′-cyclic adenosine monophosphate (cAMP)) ของโปรตีน ไคเนส เอ (protein kinase A) ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณโดยมีการกระตุ้นกระบวนการโดยการเติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) ในโปรตีนเป้าหมาย ส่งผลให้มีการสร้างท่อเจริญและแอพเพรสโซเรียมเพื่อเข้าทำลายพืช มีการเคลื่อนย้ายสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมันจากสปอร์ไปยังแอพเพรสโซเรียมที่กำลังเจริญรวมทั้งมีการผลิตสารพิโวทอล (pivotal) เพื่อกระตุ้นการทำงานของแอพเพรสโซเรียม (Fernandez and Orth, 2018; Wilson, 2021; Shi *et al*., 2023; Huckelhoven and Pillen, 2024)

การส่งสัญญาณในเซลล์เพื่อการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะผ่านกระบวนการที่เรียกว่าไมโทเจน-แอคทิเวค โปรตีน ไคเนส (Mitogen-Activated Protein Kinases (MAPKs)) และเอนไซม์ไคเนสที่ทำหน้าที่ควบคุม (regulatory kinase) ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาของแอพเพรสโซเรียม ความเข้มข้นของตัวรับส่งสัญญาณไซคลิก อะดีโนซีน โมโนฟอสเฟส ในเซลล์เชื้อราจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งสัญญาณจากตัวรับสัญญาณจี-โปรตีน (G-protein) ที่ผนังเซลล์ไปยังนิวเคลียสของเชื้อราเพื่อกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องในการเข้าทำลายพืช (ภาพที่ 1.3) (Fernandez and Orth, 2018; Shi *et al*., 2023; Huckelhoven and Schouten, 2024)

เมื่อสร้างแอพเพรสโซเรียมเสร็จแล้วเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะมีการหลั่งเอนไซม์ต่างๆ ออกมาเพื่อย่อยผนังเซลล์พืชจนถึงส่วนคิวติเคิลของพืช จากนั้นแอพเพรสโซเรียมจะเกาะติดกับผิวพืชอย่างแน่น ทนทานต่อสารเคมีและเอนไซม์ที่หลั่งออกมาทั้งโดยเชื้อราและพืช ซึ่งแอพเพรสโซเรียมจะประกอบด้วยไขมัน โพลีแซ็กคาไรด์โปรตีนและมีสีเข้มเนื่องจากมีสารเมลานิน ภายในแอพเพรสโซเรียมจะมีแรงดันที่มากกว่าแรงดันในล้อรถยนต์ถึง 40 เท่า แรงดันที่เกิดขึ้นมาจากการสะสมกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งการสร้างและสะสมกลีเซอรอลนี้มาจากการส่งสัญญาณทำให้มีการเคลื่อนที่ของไขมันและไกลโคเจนมาใช้ในการ

สร้างแอพเพรสโซเรียม ผ่านการควบคุมโดยจี-โปรตีน จนแอพเพรสโซเรียมเจริญเต็มที่ (Agrios, 2005; Singh, 2017)



ภาพที่ 1.3 กระบวนการการส่งสัญญาณของจี-โปรตีน และ 3′,5′-ไซคลิก อะดีโนซีน โมโนฟอสเฟต (cAMP) ในระหว่างการสร้างแอพเพรสโซเรียมในเซลล์เชื้อราเพื่อเข้าทำลายพืช เมื่อสปอร์งอกจะมีการกระตุ้นการทำงานของ Pth11, membrane sensor MoSho1, Rgs1 และ Mac1 นำไปสู่การสะสมของ 3′,5′-ไซคลิก อะดีโนซีน โมโนฟอสเฟตและกระตุ้นการทำงานของโปรตีน ไคเนส เอ ตามลำดับ ส่งผลให้มีการพัฒนาของแอพเพรสโซเรียมและการเจาะเข้าเซลล์พืชต่อไป
ที่มา: ดัดแปลงจาก Fernandez and Orth (2018)

ด้วยแรงดันภายในแอพเพรสโซเรียมที่สูงมากจะสามารถดันเส้นใยขนาดเล็กคล้ายเข็มหมุดที่เรียกว่าเข็มหมุดเพื่อเจาะเข้าทำลายเซลล์พืช (penetration peg) ที่สร้างขึ้นใต้

ฐานของแอพเพรสโซเรียมเจาะทะลุชั้นคิวติเคิลของพืชได้ (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Shi *et al*., 2023; Ray, 2024) เมื่อเจาะผ่านผนังเซลล์พืชแล้วจะมีการส่งสารแอคติน (actin) รวมทั้งมีการสร้างเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์คิวติเนสและแพคตินไซเลส (pectin lyase) ไปยังส่วนของเส้นใยที่ใช้เจาะผนังเซลล์พืชนี้เพื่อสร้างผนังเซลล์และเส้นใยอย่างรวดเร็ว ช่วยให้เส้นใยนี้สามารถเจริญทะลุผ่านชั้นคิวติเคิลและชั้นแพคติน ของพืชเข้าไปภายในเซลล์พืชได้ การสร้างเส้นใยที่ใช้ในการเจาะเนื้อเยื่อพืชจะควบคุมโดยกระบวนการไมโทเจน-แอคทิเวค โปรตีน ไคเนส (Fernandez and Orth, 2018; Wilson, 2021; Huckelhoven and Pillen, 2024)

การจดจำระหว่างพืชอาศัยและเชื้อสาเหตุโรคในระยะนี้ปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัด สันนิษฐานว่าเมื่อเชื้อสัมผัสกับเซลล์พืชจะกระตุ้นการตอบสนองอย่างรวดเร็ว โดยพืชอาศัยจะมีการหลั่งสารเพื่อยับยั้งการเข้าทำลาย การเจริญของเชื้อและการพัฒนาของโรค เช่น พืชจะหลั่งสารในกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compound) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) รวมทั้งกรดอะมิโนและน้ำตาลเพื่อยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช แต่ในขณะเดียวกันสารที่หลั่งออกมาโดยพืชเหล่านี้อาจจะกระตุ้นการทำงานของยีนของเชื้อและช่วยเพิ่มความรุนแรงในการเข้าทำลายของเชื้อในกรณีที่เป็นพืชอาศัย (Fernandez and Orth, 2018; Nazarov *et al*., 2020; Huckelhoven and Schouten, 2024)

นอกจากนี้เชื้อจะสร้างสารกระตุ้น (elicitor) เช่น เบต้า-กลูแคน (β-glucan) ไคติน (chitin) หรือไคโตซาน (chitosan) ก่อนหรือหลังเจาะเข้าพืชอาศัย รวมทั้งเอนไซม์ชนิดต่างๆ เช่น เบต้า-กลูคาเนส (β-glucanase) หรือไคติเนส สารเหล่านี้จะชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน กระตุ้นให้พืชเกิดการป้องกันตัวเองส่งผลให้มีการผลิตสารไฟโตอเล็กซิน (phytoalexin) เพื่อใช้ในการต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Tronsmo *et al*., 2020; Ray, 2024; Yang *et al*., 2024)

สปอร์ของเชื้อราส่วนใหญ่จะต้องการสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและความชื้นที่มาจากฝน น้ำค้าง น้ำที่เคลือบบนใบพืชที่เพียงพอเพื่อใช้ในการงอกและเจริญของเส้นใยเพื่อ

เข้าทำลายพืช ถ้าความชื้นไม่เพียงพอ ท่อเจริญจะแห้งและตาย สปอร์ที่แก่เต็มที่สามารถงอกได้ทันทีเมื่อตกลงบนพืชอาศัยเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ขณะที่ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อราในชั้น (class) Oomycetes เช่น สปอร์ในระยะพักตัวจะงอกเป็นสปอร์แรงเจียม (sporangium) และสร้างซูโอสปอร์เพื่อเข้าทำลายพืช สปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคราสนิม เช่นเทลิโอสปอร์ (teliospore) จะไม่สร้างท่อเจริญ แต่จะสร้างเป็นเบซิดิโอสปอร์ (basidiospore) แทน เพื่อเข้าทำลายพืชต่อไป (Marchand *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020; Simas *et al*., 2025)

อย่างไรก็ตามสปอร์อาจถูกยับยั้งไม่ให้งอกหรืองอกน้อยลงด้วยสารที่มาจากสปอร์เองในกรณีที่มีสปอร์อยู่หนาแน่นหรือมีเชื้อปฏิปักษ์เจริญอยู่ในบริเวณนั้น โดยเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่อาศัยในดินเจริญร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์หลายชนิดที่ต้องมีการแย่งชิงสารอาหารและที่อยู่ นอกจากนี้สปอร์อาจจะไม่งอกเมื่อมีสารที่เชื้อชนิดอื่นสร้างไว้เป็นสารที่มีพิษปลดปล่อยลงในดิน เรียกดินลักษณะนี้ว่าดินที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อ (suppressive soil) อย่างไรก็ตามเมื่อสปอร์หรือซูโอสปอร์งอกจะสร้างท่อเจริญ สร้างซูโอสปอร์ที่เคลื่อนที่ได้ ไปยังรากหรือโคนต้นของพืชอาศัย ซึ่งอัตราการงอกของสปอร์และการเจริญของเชื้อจะขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้น รวมทั้งสารที่พืชหลั่งออกมา เชื้ออาจเข้าทำลายผ่านช่องเปิดทางธรรมชาติ บาดแผลหรือเข้าทำลายได้โดยตรง (Oliver, 2024; Ray, 2024)

1.2.4 การเจาะเข้าเซลล์พืช (Penetration)

เชื้อราสาเหตุโรคพืชสามารถเจาะเข้าเซลล์พืชได้โดยตรงผ่านผนังเซลล์หรือเข้าทางช่องเปิดธรรมชาติหรือบาดแผล การเจาะเข้าเซลล์พืชยังไม่ก่อให้เกิดโรค ถ้าพืชนั้นไม่ใช่พืชอาศัยที่อ่อนแอ เชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิตจะสามารถเจาะพืชโดยสร้างเส้นใยที่ใช้เจาะเซลล์พืชเรียกว่าเข็มหมุดเพื่อเจาะเข้าทำลายเซลล์พืช ที่สร้างโดยแอพเพรสโซเรียมเจาะผ่านชั้นคิวติเคิลและผนังเซลล์ ด้วยแรงกดและหลั่งเอนไซม์เพื่อทำให้ผนังเซลล์พืชนิ่มลง (Marchand *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020; Ray, 2024) เมื่อเจาะเข้าเซลล์พืชแล้วเชื้อจะเข้าทำลายเซลล์ข้างเคียงโดยการหลั่งเอนไซม์และสารพิษเพื่อ

ย่อยหรือฆ่าเซลล์พืชสร้างเส้นใยต่อไป แต่เชื้อราบางชนิด เช่น เชื้อราสาเหตุโรคสแคป (scab) ของแอปเปิล เชื้อจะเจาะที่ชั้นคิวติเคิลของพืชเท่านั้นและเจริญอยู่ที่เฉพาะชั้นคิวติเคิลและอิพิเดอร์มิส (epidermis) (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020)

อย่างไรก็ตามเชื้อสาเหตุโรคพืชส่วนใหญ่จะเข้าทำลายผ่านช่องเปิดตามธรรมชาติ เช่น ปากใบ ช่องระบายน้ำที่ขอบและปลายใบ (hydathode) ซึ่งเป็นรูเปิดที่ขอบและปลายใบเชื่อมกับเส้นใบซึ่งปล่อยของเหลวออกมาจะมีส่วนประกอบของสารอาหารหลายชนิด และเลนติเซล (lenticel) ซึ่งเป็นช่องเปิดที่พบได้บริเวณลำต้นหรือกิ่งจะเห็นเป็นรอยแผลแตกเป็นทางยาวตามขวางหรือตามยาวของลำต้น รวมทั้งช่องเปิดที่ผิวผลไม้และหัวพืช (Agrios, 2005; Spanu *et al*., 2024) เช่น สปอร์เชื้อราจะงอกที่ผิวใบ สร้างท่อเจริญตรงบริเวณปากใบหรือเชื้อจะสร้างแอพเพรสโซเรียมบริเวณปากใบสร้างเส้นใยขนาดเล็กเจริญเข้าปากใบโดยตรง (Singh, 2017; Ray, 2024)

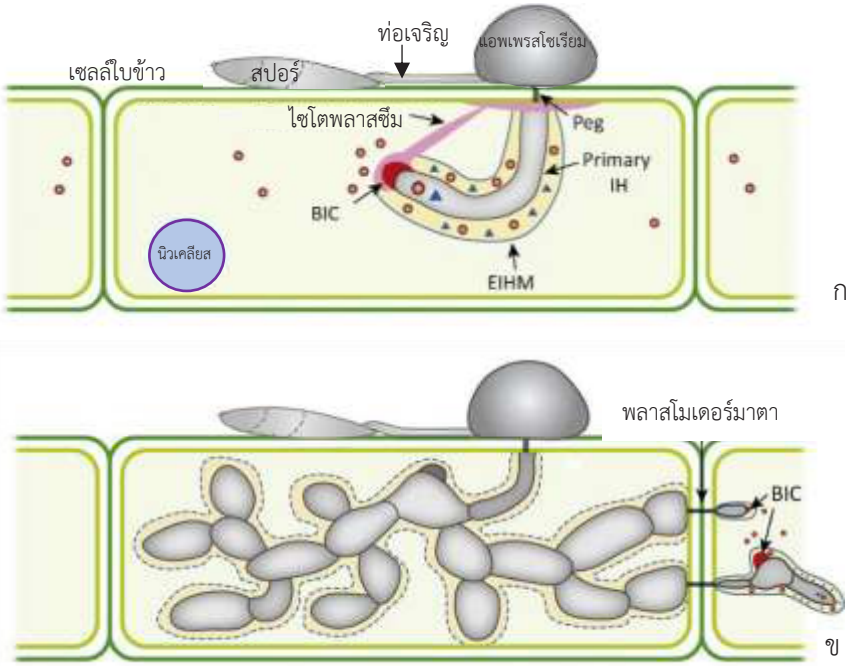
1.2.5 การเข้าทำลาย (Infection)

การเข้าทำลายเป็นกระบวนการที่เชื้อสาเหตุโรคพืชเข้าสู่เซลล์พืชหรือเนื้อเยื่อของพืชอาศัยหลังจากนั้นจะดูดซึมสารอาหารจากเซลล์พืชและเจริญเติบโตสร้างเส้นใยเจริญขยายไปเซลล์ข้างเคียง เมื่อเข้าทำลายได้สำเร็จจะพบอาการของโรคที่สามารถมองเห็นได้ เช่น ใบจุด ใบขีด รากเน่า โคนเน่า (Burchett and Burchett, 2018; Wilson, 2021; Shi *et al*., 2023) โรคบางชนิดจะยังไม่แสดงอาการของโรคจนกว่าจะมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยอาการของโรคอาจปรากฏหลังจากเชื้อเข้าทำลาย 2-4 วัน ขณะที่บางชนิดใช้เวลา 2-3 ปี ช่วงระยะเวลาดังกล่าวจะขึ้นกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชอาศัยและเชื้อสาเหตุโรคพืช ระยะการเจริญของพืช รวมทั้งสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับการพัฒนาการเกิดโรค ในระหว่างการเข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคจะหลั่งสารต่างๆ จำนวนมาก เช่น เอนไซม์ สารพิษและสารควบคุมการเจริญซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเซลล์และการเจริญเติบโตของพืช ในการป้องกันตัวเองพืชจะตอบสนองด้วยหลายกลไก ซึ่งการเกิดโรคพืชได้พืชต้องเป็นสายพันธุ์อ่อนแอ เชื้อต้องเป็นสายพันธุ์รุนแรง และต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญและการเข้าทำลายเชื้อ (Singh *et al*., 2016; Riseh *et al*., 2023; Shi *et al*., 2023)

1.2.6 การลุกลาม (Invasion)

เชื้อสาเหตุโรคพืชจะเจริญลุกลามในพืชอาศัยได้หลายวิธีขึ้นกับชนิดของเชื้อ เช่น เชื้อราสาเหตุโรคสแคปในแอปเปิล เชื้อจะเจริญสร้างเส้นใยและเข้าทำลายที่ผิวพืชเฉพาะที่ชั้นคิวติเคิลและอิพิเดอร์มิส ในขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งจะสร้างเส้นใยเฉพาะบนผิวพืชและสร้างฮอสโตเรียม เจาะไปในเซลล์อิพิเดอร์มิสเพื่อดูดซึมสารอาหาร (Agrios, 2005; Marchand *et al*., 2020; Vitale, 2022) เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญลุกลามเข้าทำลายได้ทุกส่วนของพืช ใบ ราก ลำต้น โดยสร้างเส้นใยเจริญเข้าไปในเซลล์ทั้งระหว่างและในเซลล์ เชื้อราที่เข้าทำลายระบบลำเลียงน้ำจะเข้าทำลายท่อน้ำของพืช ซึ่งการเข้าทำลายอาจเข้าทำลายเฉพาะจุดตลอดการเจริญของพืชทำให้อาการอาจจะขยายใหญ่ขึ้นอย่างช้าๆ บางชนิดอาการจะขยายใหญ่อย่างรวดเร็วเจริญลามไปยังส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ช่อดอก ผล ใบ ลามทั้งกิ่งหรือทั้งต้นพืช เช่น เชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคเหี่ยวจะเข้าทำลายที่ท่อน้ำท่ออาหารเป็นหลัก และสามารถเจริญลุกลามไปยังราก ลำต้น เชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้าง ราสนิมและเขม่าดำจะเจริญลุกลามในพืชอย่างเป็นระบบ เส้นใยแก่จะค่อยๆ สลายตัวและหายไป ขณะที่เส้นใยที่ยังอ่อนจะยังมีชีวิตในเซลล์พืชที่มีชีวิต (Burchett and Burchett, 2018; Fernandez and Orth, 2018; Spanu *et al*., 2024)

ทั้งนี้ในระหว่างการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะมีการหลั่งสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการเข้าทำลายและการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชจำนวนมากดังตัวอย่างการเข้าทำลายใบข้าวของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* ในระยะลุกลามหลังการเข้าทำลายใบข้าว 22-40 ชั่วโมง เมื่อเจาะเข้าเซลล์พืชแล้วเชื้อราจะสร้างเส้นใยที่ใช้เข้าทำลายเซลล์พืชชุดแรกหรือ invasive hyphae (IH) ที่ล้อมรอบด้วยชั้นของ extrainvasive hyphal membrane (EIHM) ในชั้นนี้จะประกอบด้วยสารกระตุ้นไซโตพลาสมิก (cytoplasmic effector) ได้แก่ Pwl2, Avr-Pita, Avr-Piz-t และ Bas1 และสารกระตุ้นอะโพพลาสติก (apoplastic effector) ได้แก่ Slp1, Bas4, และ Bas113 ที่ปลายเส้นใยจะหุ้มด้วย biotrophic interfacial complex (BIC) มีลักษณะเป็นผนังหนา (ภาพที่ 1.4) (Fernandez and Orth, 2018; Lee *et al*., 2026)



ภาพที่ 1.4 แสดงการเจริญของเส้นใยชุดแรกของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* ที่ใช้เข้าทำลายเซลล์พืชในระยะลุกลาม หลังจากการเข้าทำลายใบข้าว 22-40 ชั่วโมง

ก. เชื้อราสร้าง biotrophic interfacial complex (BIC) ที่ปลายเส้นใยลักษณะเป็นผนังหนาใช้เข้าทำลายเซลล์พืชชุดแรก (invasive hyphae (IH)) มีการสร้างสารกระตุ้นไซโตพลาสมิก (cytoplasmic effector) (วงกลมสีแดง) ได้แก่ Pwl2, Avr-Pita, Avr-Piz-t และ Bas1 และสารกระตุ้นอะโพพลาสติก (apoplastic effector) (วงกลมสีฟ้า) ได้แก่ Slp1, Bas4, และ Bas113 หลั่งไปยังส่วน apoplastic matrix ระหว่าง extrainvasive hyphal membrane (EIHM) และผนังเซลล์เชื้อรา รวมทั้งหลั่งไปที่ในไซโตพลาสซึมในเซลล์ใบข้าวและสะสมที่ BIC

ข. การเจริญรุกลามจากเซลล์พืชที่เข้าทำลายไปเซลล์พืชข้างเคียง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Fernandez and Orth (2018)

1.2.7 การเจริญและสร้างส่วนขยายพันธุ์ (Growth and Reproduction)

เมื่อเชื้อราสาเหตุโรคพืชเจริญลุกลามโดยสร้างเส้นใยเจริญเข้าไปในเซลล์ข้างเคียงจากจุดที่เชื้อเข้าทำลาย จะเริ่มปรากฏอาการเป็นจุดเล็กๆ สีซีดหรือน้ำตาล ต่อมาอาการจะขยายลุกลามเป็นพื้นที่ใหญ่ขึ้นตามบริเวณที่เชื้อเจริญลุกลามไป จากหนึ่งใบไปหลายใบจนลามทั้งกิ่งหรือทั้งต้น (Nazarov *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020; Spanu *et al*., 2024) เส้นใยอ่อนจะเจริญเข้าทำลายพืชได้อย่างต่อเนื่องในขณะที่เส้นใยแก่จะตาย เชื้อที่เข้าทำลายท่อน้ำท่ออาหารจะสร้างเส้นใยเจริญไปตามท่อน้ำท่ออาหารสามารถเข้าทำลายพืชได้อย่างต่อเนื่อง เชื้อราส่วนใหญ่จะสร้างเส้นใยและสปอร์ทั้งในเซลล์พืชหรือบนผิวพืชบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย เพื่อสามารถปลดปล่อยสปอร์ออกได้ง่ายโดยลม อัตราการสร้างสปอร์จะขึ้นกับเชื้อราแต่ละชนิดและความรุนแรงของโรคในการเข้าทำลายพืชแต่ละครั้ง (Burchett and Burchett, 2018; Marchand *et al*., 2020; Oliver, 2024)

1.2.8 การแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Dissemination of the Plant Pathogen)

เชื้อราในชั้น Oomycetes สร้างซูโอสปอร์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะสั้นไปยังรากพืชอาศัยด้วยการว่ายน้ำของซูโอสปอร์หรือเส้นใยเชื้อราที่เจริญในดินสามารถเจริญไปยังรากพืชและเซลล์ข้างเคียงได้ ส่วนเชื้อราในกลุ่มอื่นจะสร้างสปอร์จากก้านชูสปอร์โดยตรงที่ผิวใบหรือส่วนต่างๆ ของพืช (Nazarov *et al*., 2020; Vitale, 2022; Govers, 2024) ซึ่งสามารถแพร่กระจายได้โดยตรงโดยลม ฝนหรือติดไปกับแมลง เชื้อราบางชนิดจะสร้างโครงสร้างผลิตสปอร์ต่างๆ (fruiting body) ห่อหุ้มสปอร์ เมื่อแก่เต็มที่สปอร์จะถูกพ่นหรือดันออกมาเหนือโครงสร้างจากนั้นจะแพร่กระจายต่อโดยลม ฝน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่สำคัญได้แก่ลม โดยความแรงและความเร็วลมจะส่งผลให้สปอร์ปลิวไปในทิศทางต่างๆ ในระยะทางใกล้ไกล สปอร์อาจตกลงบนใบหรือส่วนต่างๆ ของพืชถ้าสัมผัสกับพื้นเปียกก็ไม่สามารถปลิวไปต่อได้ (Singh, 2017; Spanu *et al*., 2024) ส่วนน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการแพร่ระบาดของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ 3 แนวทาง (1) ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืชจะแพร่กระจายผ่านฝนหรือระบบให้น้ำบริเวณผิวดินหรือผ่านช่องว่างระหว่างดิน (2) ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืชถูกปล่อยออกมาซึ่งฝนหรือระบบให้น้ำจะชะล้างให้ส่วน

ขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืชหลุดและแพร่ออกไปและ (3) หยดน้ำฝนหรือหยดน้ำที่มาจากระบบให้น้ำจะช่วยชะให้ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรคพืชที่ปลิวจากอากาศตกลงบนผิวพืชและดิน (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Vitale, 2022)

นอกจากนี้เชื้อสาเหตุโรคพืชทั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียสามารถแพร่กระจายโดยแมลง โดยสปอร์ของเชื้อราและเซลล์แบคทีเรียจะติดไปกับขาและปากของแมลง เช่น สปอร์เชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าและโรคแอนแทรคโนส นอกจากนี้แมลงยังสามารถสร้างบาดแผลจากการเจาะหรือกัดทำให้เชื้อที่ติดมากับแมลงสามารถเข้าทำลายพืชได้รวดเร็ว รวมทั้งไรและไส้เดือนฝอยก็สามารถเป็นพาหะในการนำสปอร์ไปยังแหล่งต่างๆ สัตว์เกือบทุกชนิดสามารถช่วยในการเคลื่อนย้ายสปอร์โดยการติดไปกับตัว ปากหรือเท้า (Burchett and Burchett, 2018; Vitale, 2022) เชื้อสาเหตุโรคพืชหลายชนิดสามารถติดไปกับเมล็ดพันธุ์ ต้นกล้า ท่อนพันธุ์ ไปยังแปลงปลูกใหม่ การแพร่ด้วยเมล็ดพันธุ์ ต้นกล้า ท่อนพันธุ์นี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งและก่อให้เกิดความเสียหายมากเนื่องจากสามารถแพร่ไปได้ไกลโดยเข้าทำลายพืชพื้นที่ใหม่ในต่างประเทศผ่านการขนส่งต่างๆ รวมทั้งการแพร่กระจายโดยมนุษย์สามารถเป็นตัวพาสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชไปยังแหล่งต่างๆ ได้ทั้งในระยะใกล้และไกล โดยติดไปกับรองเท้า เสื้อผ้าหรือนำพืชติดโรคไปยังต่างประเทศ เป็นต้น นอกจากนี้เชื้อยังสามารถติดไปกับเครื่องมือการเกษตรที่ใช้ในการตัดแต่งกิ่ง อุปกรณ์ขุดดิน อุปกรณ์และภาชนะที่เก็บผลผลิต (Agrios, 2005; Del Ponte and Mizubuti, 2024)

1.2.9 การอยู่ข้ามฤดู (Overseasoning)

เชื้อสาเหตุโรคพืชสามารถมีชีวิตอยู่รอดภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น ฤดูหนาว ฤดูร้อนหรือระหว่างพักแปลงที่พืชอาศัยตายหลังการเก็บเกี่ยว (Burchett and Burchett, 2018) โดยเชื้อราสาเหตุโรคพืชส่วนใหญ่จะอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเส้นใยหรือสปอร์ผนังหนาในเศษซากพืชทั้งในกิ่ง ใบ หัวหรือท่อนพันธุ์ รวมทั้งผลที่ร่วงหล่น เชื้อราบางชนิดจะสร้างสปอร์เพื่อใช้พักตัวเรียกว่าสปอร์ระยะพักตัว (resting spore) ส่วนใหญ่เป็นสปอร์ที่มีผนังหนา เช่น โอโอสปอร์ (oospore) เม็ดสเคลอโรเตียมในดินและเศษซากพืช หรือสามารถดำรงชีวิตโดยย่อยสลายเศษซากพืชได้ เชื้อราบางชนิด เช่น

เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมจะย้ายไปเจริญในพืชอาศัยรองหรือพืชอาศัยสลับ รอจนฤดูปลูกพืชอาศัยหลักกลับมาจะเข้าทำลายพืชอาศัยหลักต่อไป (Agrios, 2005; Del Ponte and Mizubuti, 2024)

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรของโรคพืชและการแพร่ระบาด (Relationship between Disease Cycle and Dissemination)

เชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิดจะสามารถเข้าทำลายพืชอาศัยได้ครั้งเดียวใน 1 ฤดูปลูก ตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว หรือเข้าทำลายเพียง 1 ครั้งใน 1 ปี เรียกว่าเชื้อที่มีวงจรชีวิตเดี่ยว (monocyclic pathogen) เช่น เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งเขม่าดำ ราสนิม โดยเชื้อจะสร้างสปอร์ในช่วงต้นฤดูซึ่งถือเป็นส่วนขยายพันธุ์ชุดที่หนึ่ง จากนั้นจะเข้าทำลายพืชอาศัยหลักและพืชอาศัยรองจนครบวัฏจักรการเกิดโรคในเวลา 1 ปีหรือในหนึ่งฤดูปลูก (Agrios, 2005; Marchand *et al*., 2020; Vitale, 2022) รวมทั้งเชื้อราสาเหตุโรครากเน่า โรคเหี่ยว เชื้อจะเจริญข้ามฤดูในช่วงฤดูหนาวหรือร้อนในเศษซากพืช เมื่อพืชเจริญเติบโตในฤดูกาลใหม่ส่วนที่พักตัวจะงอกและสร้างสปอร์เข้าทำลายพืชอาศัยใหม่ เชื้อที่มีการเข้าทำลายแบบวัฏจักรเดี่ยวจะสร้างส่วนขยายพันธุ์ชุดที่หนึ่งเพียงครั้งเดียวจำนวนมากในการเข้าทำลายในหนึ่งฤดูปลูกเท่านั้น (Tronsmo *et al*., 2020; Martin *et al*., 2022; Patra *et al*., 2022)

ในขณะที่เชื้อสาเหตุโรคพืชหลายชนิดสามารถเข้าทำลายพืชได้หลายครั้งในหนึ่งฤดูปลูกเรียกว่าเชื้อที่มีวงจรชีวิตหลายครั้ง (polycyclic pathogen) เชื้อกลุ่มนี้สามารถเจริญครบวัฏจักรได้หลายครั้งในหนึ่งฤดูปลูกโดยสามารถแพร่กระจายไปเข้าทำลายพืชปกติที่อยู่ใกล้เคียงหรือในแปลงปลูกได้อย่างต่อเนื่องทำให้เกิดความเสียหายจำนวนมาก เช่น เชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้ ราแป้ง ราน้ำค้าง ใบจุด (Burchett and Burchett, 2018; Marchand *et al*., 2020; Spanu, 2024) เชื้อสาเหตุโรคพืชเหล่านี้จะสร้างส่วนขยายพันธุ์ชุดที่หนึ่งทั้งจากการสืบพันธุ์แบบใช้เพศและไม่ใช้เพศ ในเชื้อราที่ไม่สร้างระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศจะสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศซึ่งจะเป็นส่วนขยายพันธุ์ชุดที่หนึ่งเข้าทำลายพืชและสามารถผลิตสปอร์แบบไม่ใช้เพศเพื่อเข้าทำลายพืชได้ซ้ำหลายครั้ง (Nazarov *et al*., 2020) ในขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมบางชนิดที่เข้าทำลายต้นไม้ใหญ่จะใช้เวลาหลายปีในการ

เจริญครบวัฏจักร เช่น โรคราสนิมแอปเปิล โรคราสนิมต้นสน เป็นต้น (Agrios, 2005; Vitale, 2022; Del Ponte and Mizubuti, 2024)

1.4 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา (Plant Disease Caused by Fungi)

โรคพืชส่วนใหญ่จะเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา การทราบถึงองค์ประกอบของเซลล์เชื้อรา ลักษณะการดำรงชีวิต วงจรชีวิต วัฏจักรการเกิดโรคพืชรวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ย่อมส่งผลต่อการป้องกันกำจัดโรคพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเชื้อราส่วนใหญ่มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าต้องตรวจสอบดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เชื้อราเป็นยูคาร์ริโอต (eukaryote) ส่วนใหญ่สร้างเส้นใยที่เป็นเส้นสาย มีลักษณะแตกแขนง บางชนิดเป็นเซลล์เดี่ยวๆ (Frost, 2019; Nazarov *et al*., 2020; Oliver, 2024) เซลล์เชื้อราประกอบด้วยไมโทคอนเดรีย (mitochondria) นิวเคลียส (nucleus) แวคคิวโอล (vacuole) เอ็นโดพลาสมิก เรติคิวลัม (endoplasmic reticulum) และกอลจิ แอปพาราตัส (golgi apparatus) ห่อหุ้มด้วยพลาสมาเมมเบรนที่ประกอบด้วยชั้นของฟอสฟลอลิฟิด 2 ชั้น (phospholipid bilayer) และเออโกสเตอรอล (ergosterol) ซึ่งเป็นสารกลุ่มสเตอรอยด์ (steroid) ช่วยเสริมความแข็งแรงของพลาสมาเมมเบรน ไม่มีคลอโรฟิลล์ (Burchett and Burchett, 2018; Frost, 2019) ผนังเซลล์ (cell wall) เป็นผนังชั้นนอกสุดประกอบด้วยโพลีแซ็กคาไรด์มีส่วนประกอบของไคติน กลูแคน ส่วนของชั้นโพลีแซ็กคาไรด์และไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ส่วนเชื้อราในชั้น Oomycetes มีผนังเซลล์ประกอบด้วยไคตินเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลูแคนและเซลลูโลส (Frost, 2019; Govers, 2024)

เชื้อรามีรายงานมากกว่า 100,000 ชนิด ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตโดยการย่อยสลายเศษซากพืชหรือย่อยอินทรีย์วัตถุต่างๆ ในดินเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต มีบางส่วนเพียง 50 ชนิด เป็นเชื้อราสาเหตุโรคมนุษย์และสัตว์โดยเข้าทำลายส่วนผิวหนัง ขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชมีมากกว่า 10,000 ชนิด (Agrios, 2005) เชื้อราสาเหตุโรคพืชสามารถเข้าทำลายพืชได้หนึ่งหรือหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคพืช บางชนิดเป็นเชื้อปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต ซึ่งสามารถเจริญและเข้าทำลายพืชหลายๆ ครั้งในช่วงระหว่าง

ที่พืชมีชีวิตอยู่ บางชนิดใช้ชีวิตแบบไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิตซึ่งเข้าทำลายต้นพืชอาศัยในบางช่วงของวัฏจักรชีวิตและสามารถเจริญครบวัฏจักรได้ในอินทรีย์วัตถุหรือเศษซากพืช (Singh, 2017; Marchand *et al*., 2020) เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญแบบเซลล์เดี่ยว (unicellular) หรือหลายเซลล์ (multicellular) รวมทั้งสามารถสร้างเส้นใยเป็นกลุ่มลักษณะเป็นโคโลนีหรือแบบดอกเห็ด (Spanu *et al*., 2024)

1.5 ผลกระทบจากการเข้าทำลายของเชื้อรา (Effect of Fungal Infection)

หลังจากที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชเข้าทำลายพืช เชื้อจะดูดซึมสารอาหารจากพืชทำให้เกิดผลกระทบต่อกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์พืช ได้แก่การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) การหายใจ (respiration) มีผลต่อความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ (permaeability of cell wall) การเคลื่อนย้ายน้ำและสารอาหาร (translocation) การถอดรหัสหรือการสร้างอาร์เอ็นเอ (transcription) และการแปลรหัสในการสังเคราะห์โปรตีน (translation) (Dean *et al*., 2012; Nazarov *et al*., 2020) ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.5.1 การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

เมื่อเชื้อราสาเหตุโรคเข้าทำลายใบพืชทำให้เกิดอาการใบไหม้ ใบจุด ซึ่งจะส่งผลทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง เชื้อราบางชนิดยังทำให้เกิดอาการใบร่วง เช่น โรคใบไหม้ของมันฝรั่ง ที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora infestans* และ *Alternaria solani* ที่สามารถก่อให้เกิดอาการใบร่วงรุนแรงในแปลงปลูก (Dean *et al*., 2012; Hariharan and Prasannath, 2021; Zhang *et al*., 2022) รวมทั้งโรคใบจุดในถั่วที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อ *Botrytis fabae* ที่สามารถทำให้พื้นที่ใบเสียหายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของต้น อาการจุดเหลืองซีดบนใบเป็นอาการที่พบได้บ่อยจากการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เนื่องจากมีการลดลงของจำนวนของคลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาส (chloroplast) นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณที่เชื้อเข้าทำลายจะมีระดับของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) เพิ่มสูงขึ้น เอนไซม์นี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์เป็น คลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllide) และไฟตอล (phytol) (Spanu *et al*., 2024; Cheaib and Killiny, 2025) การลดลงของคลอโรฟิลล์ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงลดลงและทำให้เกิดผล

กระทบต่อผลผลิตที่จะตามมา นอกจากยังมีผลต่อกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) โดยพบว่าคลอโรพลาสของต้นหัวน้ำตาล (sugar beet) ที่ถูกเชื้อราสาเหตุโรคราแป้งเข้าทำลายจะลดประสิทธิภาพในการสร้าง อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate (ATP)) เป็นต้น (Tronsmo *et al*., 2020; Ray, 2024)

ในการเข้าทำลายของเชื้อราบางชนิดสามารถลดการสังเคราะห์แสงอันเนื่องมาจากสารพิษที่เชื้อราสร้างขึ้น เช่น แทบท็อกซิน (tabtoxin) และเท็นท็อกซิน (tentoxin) เชื้อราจะสร้างสารพิษเหล่านี้ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยสารพิษจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลูตามีน ซินทีเตส (glutamine synthetase) ส่งผลทำให้ลดระดับของกลูตามีน (glutamine) แต่มีการสะสมแอมโมเนีย (ammonia) จำนวนมากจนถึงระดับเป็นพิษ รวมทั้งสามารถทำลายผนังไทลาคอยด์ (thylakoid) ของคลอโรพลาสทำให้เกิดจุดซีดบนใบ ต่อมาเซลล์จะตายเป็นจุดสีน้ำตาลดำ (Agrios, 2005; Fernandez and Orth, 2018) ในใบข้าวบาร์เลย์ที่เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งเข้าทำลายส่งผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ (soluble carbohydrate) ลดลงอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ในใบ *Arabidopsis* sp. ที่ถูกเชื้อรา *Albugo candida* เข้าทำลายจะพบกิจกรรมการสังเคราะห์แสงการลดลง โดยปริมาณของเอนไซม์ไรบูโลส ไบเฟสเฟต คาร์บอกซิเลส (ribulose biphosphate carboxylase) ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบการลดลงของปริมาณแป้งในใบบริเวณที่เชื้อในกลุ่มเชื้อที่เป็นปรสิตแบบไม่ถาวร เช่น *Cercospora* spp. เข้าทำลาย (Nazarov *et al*., 2020; Zhang *et al*., 2022)

1.5.2 ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ (Permaeability of Cell Wall)

เชื้อราสาเหตุโรคพืชสามารถสร้างเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์พืชได้ ได้แก่ไกลโคไซด์ ไฮโดรเลส (glycoside hydrolase) ไกลโคซิลทรานสเฟอเรส (glycosyltransferase) และเพคติน ไลเลส ซึ่งจะสามารถย่อยสลายส่วนประกอบของผนังพืชได้แก่ คิวติเคิล เซลลูโลส เพคติน และโพลีแซ็กคาไรด์ เช่นเชื้อรา *Mycosphaerella graminicola*, *Botrytis cinerea* และ *Verticillium dahliae* (Fernandez and Orth, 2018; Riseh *et al*., 2023; Huckelhoven and Pillen, 2024)

นอกจากนี้เชื้อราสาเหตุโรคพืชยังสามารถปลดปล่อยเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์พืชได้หลายชนิด เช่นเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในชา จะหลั่งเอนไซม์คิวติเนสที่สามารถย่อยสลายคิวติเคิลได้อย่างรวดเร็ว ส่วนเชื้อรา *Pyricularia oryzae* จะหลั่งเอนไซม์เอนโดกลูคาเนส (endoglucanase) ระหว่างการเข้าทำลายซึ่งจะย่อยเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ของผนังเซลล์ในใบข้าวและปลดปล่อยโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) 2 ชนิดได้แก่ไตรแซ็กคาไรด์ เบต้า-ดี-เซลลูโลสิลกลูโคส (trisaccharide β -D-cellulosyl glucose) และเตตระแซ็กคาไรด์ 31-เบต้า-ดี-เซลลูบิโอส กลูโคส (tetrasaccharide 31- β -D-cellobiose glucose) ซึ่งสารทั้งสองชนิดเป็น danger-associated molecular patterns (DAMPs) ในระหว่างการเข้าทำลายของเชื้อรา ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นสัญญาณกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันเพื่อตอบสนองต่อสารที่พืชหลั่งออกมาต่อต้านการเข้าทำลาย (Zhang *et al*., 2022; Huckelhoven and Schouten, 2024; Wu *et al*., 2025)

นอกจากนี้เชื้อราสาเหตุโรคพืชยังสามารถทำลายพลาสมาเมมเบรนซึ่งเป็นส่วนที่มีความหยืดหยุ่น และช่วยคงรูปร่างของเซลล์พืชให้สมดุลกับสภาพแวดล้อม รวมทั้งเป็นส่วนช่วยคงความสมดุลของกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเคลื่อนย้ายไอออน สารอินทรีย์ต่างๆ เข้าออกเซลล์ ซึ่งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคจะส่งผลต่อคุณสมบัติการซึมผ่านเข้าออกของสารที่พลาสมาเมมเบรน (Agrios, 2005; Oliver, 2024) โดยมีการสันนิษฐานว่าเชื้อจะสร้างสารพิษบางชนิดไปจับที่ส่วนประกอบต่างๆ หรือตัวรับสัญญาณ (receptor) ที่พลาสมาเมมเบรน ทำให้พลาสมาเมมเบรนผิดรูปร่าง รวมทั้งสร้างเอนไซม์ฟอสฟาติเดส (phosphatidase) ไทโรซิเนส (tyrosinase) และเพคติน มีผลทำให้พลาสมาเมมเบรน แยกออกจากกัน (Zhang *et al*., 2022; Huckelhoven and Schouten, 2024)

ส่วนเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต เช่น เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งจะสร้างฮอสโตเรียมเจาะเข้าเซลล์พืช ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติการซึมผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ที่พลาสมาเมมเบรนโดยตรงคล้ายคลึงกับการเข้าทำลายของเชื้อราในกลุ่มเชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต แต่จะไม่ทำลายพลาสมาเมมเบรน โดยขณะที่ฮอสโตเรียมกำลังเจริญพลาสมาเมมเบรนของพืชจะปรับเปลี่ยนรูปร่างสอด

รับกับการเจริญของฮอสโตเรียมที่สร้างโดยเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Hariharan and Prasannath, 2021; Shi *et al*., 2023)

1.5.3 ยับยั้งสารต้านเชื้อราที่สร้างโดยพืช (Inhibition of Antifungal Compound Produced by Plant)

เมื่อเชื้อราสาเหตุโรคพืชเข้าทำลายพืชจะพบกับสารเคมีที่ทำหน้าที่ในการป้องกันการเข้าทำลายของพืชซึ่งมีคุณสมบัติสามารถยึดเกาะกับสารต่างๆ ที่พลาสมา เมมเบรนของเชื้อราส่งผลต่อความแข็งแรงและความหยืดหยุ่นของผนังเซลล์เชื้อรา เช่น สารในกลุ่มซาโปนิน (saponin) และแอลฟา-โตมาตีน (α-tomatine) ที่พบในข้าวโอ๊ต เป็นสารที่ใช้ในการต้านการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคหลายชนิด (Nazarov *et al*., 2020; Wilson, 2021; Huckelhoven and Pillen, 2024) อย่างไรก็ตามเชื้อราสาเหตุโรคสามารถหลั่งเอนไซม์ที่สามารถยับยั้งการทำงานของสารเหล่านี้ได้เช่นกัน เช่นเชื้อรา *Gaeumannomyces graminis*, *Cryptosporidium graminis* และ *Fusarium graminearum* ที่เข้าทำลายรากข้าวโอ๊ต จะสร้างเอนไซม์ที่ยับยั้งสารซาโปนินซึ่งเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) ที่พบได้ในพืชหลายชนิด มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวธรรมชาติ (natural surfactant) ละลายได้ทั้งในน้ำและไขมันทำหน้าที่ป้องกันศัตรูพืชในพืช (Blandon *et al*., 2026) นอกจากนี้เชื้อรา *Cladosporium fulvum* จะหลั่งสารกระตุ้น คือ CfTom1 ที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของแอลฟา-โตมาตีนเพื่อเข้าทำลายต้นมะเขือเทศได้ เป็นต้น (Zhang *et al*., 2022; Shi *et al*., 2023; Zhu *et al*., 2026)

1.5.4 ย่อยสลายอาร์เอ็นเอของพืชอาศัย (Degradation of Host Plant RNA)

เชื้อราสาเหตุโรคพืชสามารถสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสารกระตุ้นคล้ายเอนไซม์ไรโบนิวเคลียส (ribonuclease-like effector) ซึ่งสามารถย่อยสลายกรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid (RNA)) หรืออาร์เอ็นเอในพืชทำให้ลักษณะทางกายภาพของพืชเปลี่ยนไป เช่น เชื้อรา *Blumeria graminis* จะหลั่งเอนโซม์ไรโบนิวคลีเอสหรือ Ralphs ซึ่งจะยับยั้งการแสดงออกของยีน CSEP0064/BEC1054 ในข้าวสาลีซึ่งจะส่งผลทำให้พืช

อ่อนแอต่อการเข้าทำลายและชักนำการย่อยสลายของไรโบโซมอล อาร์เอ็นเอ (ribosomal RNA) ในใบพืชเพื่อช่วยให้พืชคงมีชีวิตอยู่เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต (Burchett and Burchett, 2018; Huckelhoven and Pillen, 2024) ส่วนโปรตีน Fg12 ที่หลั่งโดย *Fusarium graminearum* มีคุณสมบัติเป็นเอนไซม์ไรโบนิวคลีเอส สามารถย่อยสลายอาร์เอ็นเอของถั่วเหลืองและกระตุ้นความรุนแรงในการเข้าทำลายพืช ขณะที่ตัวรับสัญญาณไรโบนิวเคลียส คือ SRN1 และ SRN2 ที่สร้างโดย *Colletotrichum orbiculare* จะทำให้หมู่ฟอสเฟต (phosphate) ที่ 3’ end ของสายอาร์เอ็นเอบนกัวโนซีน (guanosine) แยกออกมาจากอาร์เอ็นเอในเซลล์ต้นถั่ว เป็นต้น (Zhang *et al*., 2022; Ray, 2024)

1.6 อาการของโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา (Disease Symptom Caused by Fungi)

เชื้อราสาเหตุโรคพืชสามารถก่อให้เกิดอาการที่ผิดปกติต่างๆ ในพืชอาศัยได้แตกต่างกัน ซึ่งอาการเหล่านี้อาจเกิดเดี่ยวๆ หรืออาจเกิดติดต่อกันทั่วใบหรือลำต้น อาการของโรคที่เกิดจากเชื้อราจะมีหลายลักษณะขึ้นกับชนิดของเชื้อและส่วนของพืชอาศัยที่เชื้อเข้าทำลายซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชหรือทั้งต้น (ภาพที่ 1.5) (Agrios, 2005; Oliver, 2024) อาการของโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรามีดังนี้

ใบจุด (leaf spot): เกิดแผลจุดสีเหลืองหรือน้ำตาลบนใบพืชอาศัย จุดอาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ขึ้นกับความรุนแรงของโรค ซึ่งจุดจะเกิดจากการตายของเซลล์และอาจขยายใหญ่เชื่อมติดกันก่อให้เกิดอาการใบไหม้

ไหม้ (blight): เริ่มแรกจะเกิดเป็นแผลจุดขนาดเล็กและขยายใหญ่ขึ้น ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วและทำให้ใบแห้งเหี่ยว นอกจากจะพบอาการที่ใบแล้วยังพบอาการไหม้ที่กิ่ง ก้าน ผลและดอก

ใบขีด (narrow spot): มีเส้นขีดสีน้ำตาลบนใบ

แคงเกอร์ (canker): อาการแผลเนื้อเยื่อตายที่ลำต้น

ยอดไหม้ (dieback): อาการไหม้อย่างรุนแรงที่ยอดอ่อนหรือปลายกิ่งแล้วลามจากยอดลงมาไปทั้งกิ่ง

รากเน่า (root rot): อาการเน่าที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของรากพืช

รากเน่าโคนเน่า (damping-off): อาการเนื้อเยื่อตายที่บริเวณโคนต้นของต้นกล้า ทำให้ต้นกล้าหักพับล้มลงมา

โคนต้นเน่า (basal stem rot): บริเวณโคนต้นเกิดอาการเน่า พบในพืชยืนต้น

เน่าเปียกและเน่าแห้ง (soft rot and dry rot): เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อพืชและแผลเน่าเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ต่อมาแผลอาจแห้งทำให้เป็นอาการเน่าแห้ง เกิดได้ทุกส่วนของพืชทั้งผล ราก หัว ท่อนพันธุ์และใบ

แอนแทรคโนส (anthracnose): พบอาการจุดเนื้อเยื่อตาย แผลขยายใหญ่สีน้ำตาลดำ กลางแผลจะยุบตัวลง ฉ่ำน้ำ พบได้ทั้งผล ลำต้น ใบ และดอก

สแคป (scab): เกิดแผลสะเก็ดแข็งบนผล ใบ หัว

ต้นโทรม (decline): ต้นชะงักหรือชะลอการเจริญเติบโต ไม่แข็งแรง เจริญช้า ใบเล็กลงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แดง หรือแห้งเป็นสีน้ำตาล บางครั้งพบอาการใบร่วงและยอดตาย

รากบวม (clubroot): รากขยายใหญ่ผิดปกติ คล้ายกระบองเนื่องจากเชื้อสร้างส่วนขยายพันธุ์ในราก

ปุ่มปม (gall): ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ลำต้น ใบ ดอกและรากเกิดขยายใหญ่ผิดปกติ

หูด (wart): อาการปุ่มปมบนหัวหรือลำต้น

ใบม้วนงอ (leaf curl): ใบม้วนงอ บิดเบี้ยว หนา ขอบใบม้วนขึ้น

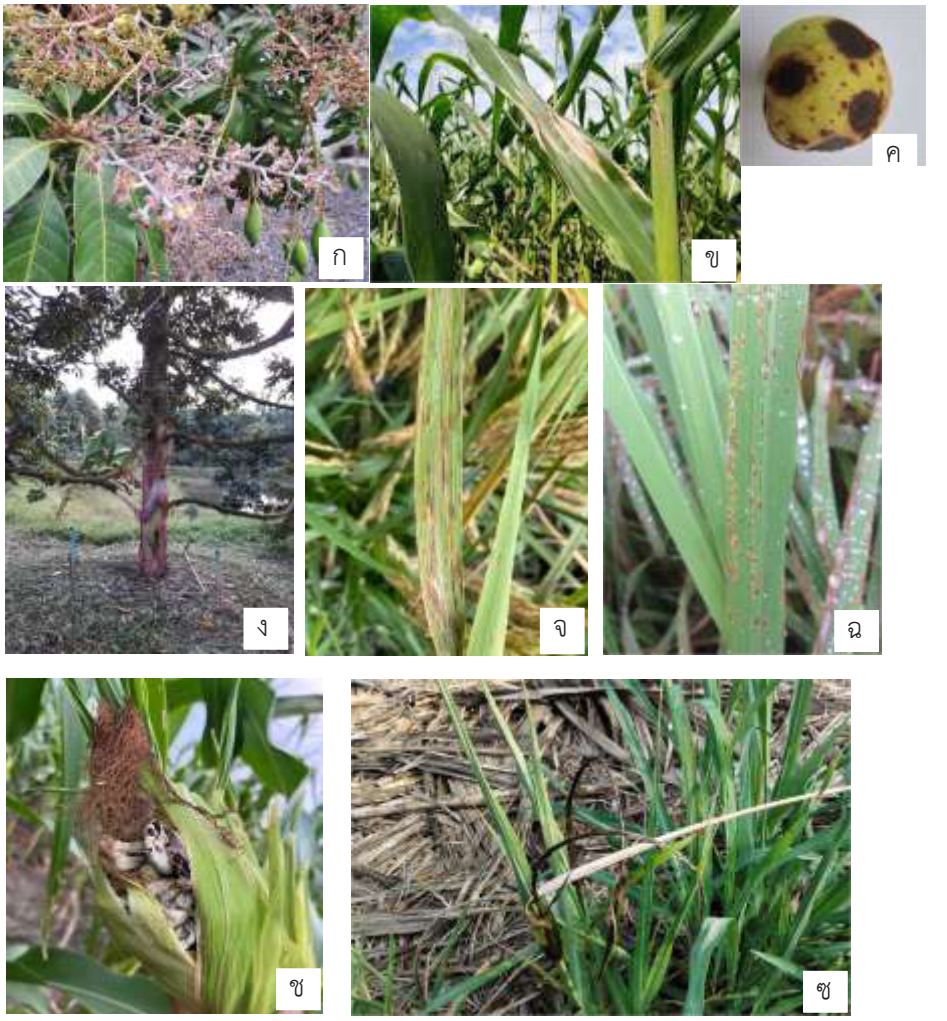
เหี่ยว (wilt): ต้นพืชโทรม ใบ ยอดและลำต้นเหี่ยวเนื่องจากระบบท่อน้ำท่ออาหารถูกทำลาย

ราสนิม (rust): แผลจุดสีน้ำตาล เหลืองหรือสีสนิมบนใบ กาบใบหรือลำต้น

เขม่าดำ (smut): มีเส้นใยและสปอร์เชื้อราสีดำจำนวนมากในเมล็ดหรือยอด เมล็ดพองขยายใหญ่กว่าปกติ

ราแป้ง (powdery mildew): พบกลุ่มเส้นใยสีขาวขึ้นที่ผิวใบ ลำต้น ช่อดอกและผล

ราน้ำค้าง (mildew): พบจุดเหลืองซีดหรือน้ำตาลที่ใต้ใบ มีกลุ่มเส้นใยสีขาวกระจายเป็นหย่อมๆ



ภาพที่ 1.5 ตัวอย่างอาการของโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา

ก. ราแป้งในช่อมะม่วง
ข. ใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพด
ค. แอนแทรคโนสของฝรั่ง
ง. รากเน่าโคนเน่าของทุเรียน
จ. ใบขีดของข้าว
ฉ. ใบไหม้ของข้าว
ช. ราเขม่าดำในข้าวโพด
ซ. ราเขม่าดำหรือแส้ดำในอ้อย

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ในบางครั้งพบเชื้อราสาเหตุโรคพืชเจริญและสร้างโครงสร้างที่หลากหลายบนผิวใบหรือบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย อาจเป็นเส้นใยสีขาวหรือเทา เส้นใยที่อัดรวมตัวกันเป็นก้อน ก้านชูสปอร์หรือที่เกิดสปอร์ โครงสร้างที่ห่อหุ้มที่เกิดสปอร์ สิ่งเหล่านี้เรียกว่าส่วนของเชื้อ (sign) ซึ่งแตกต่างจากอาการ (symptom) ที่เป็นอาการผิดปกติที่พบบนส่วนต่างๆ ของพืชที่ถูกทำลาย เช่น อาการใบจุด ใบไหม้ ยกตัวอย่างเช่น โรคราน้ำค้าง สามารถพบเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ที่ใต้ใบมีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นใยสีขาว ฉ่ำน้ำแต่ที่ผิวใบพบอาการจุดเหลืองซีดหรือน้ำตาล ขณะที่เชื้อราแป้งจะพบเส้นใยและสปอร์เชื้อราสีขาวบนผิวใบลักษณะคล้ายผงแป้ง ผลหรือลำต้นและพบอาการจุดเหลืองซีดบนใบ เนื่องจากเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคราแป้งและราน้ำค้างสามารถดูดสารอาหารจากใบทำให้ใบซีดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล จึงพบเห็นเป็นแผลจุดสีเหลืองซีดบนใบซึ่งเป็นอาการของโรค (Burchett and Burchett, 2018; Vitale, 2023)

1.7 บทสรุป

โรคพืชคือการที่พืชมีอาการที่ผิดปกติไปจากต้นปกติหรือมีอาการของโรคปรากฏที่ส่วนต่างๆ ของพืช โรคพืชสามารถเกิดจากสิ่งมีชีวิตเข้าทำลายได้แก่จุลินทรีย์ต่างๆ และเกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในต้นพืชหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งความรุนแรงของโรคพืชจะขึ้นกับสามปัจจัยหลักประกอบด้วยเชื้อสาเหตุโรคพืชสายพันธุ์ที่รุนแรง พืชอาศัยสายพันธุ์อ่อนแอ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการก่อโรค โดยมีกระบวนการต่างๆ ที่นำไปสู่การเกิดโรคในพืชอาศัยเรียกว่าวัฏจักรการเกิดโรค ประกอบด้วยการที่ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อตกลงบนส่วนต่างๆ ของพืชอาศัย การยึดเกาะของส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อบนผิวพืช การจดจำระหว่างเชื้อสาเหตุโรคพืชและพืช การเจาะเข้าทำลายเซลล์พืช การเข้าทำลายระยะเริ่มแรก การเจริญสร้างโคโลนี การเจริญเติบโต การสร้างส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อรา การแพร่กระจายของเชื้อ และการอยู่ข้ามฤดูของเชื้อสาเหตุโรค

เชื้อสาเหตุโรคพืชนั้นจะมีการเข้าทำลายพืชและดำรงชีวิตได้หลายแบบขึ้นกับเชื้อแต่ละชนิด โดยเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคราแป้ง ราน้ำค้าง และราสนิมจะมีการดำรงชีวิตแบบเจริญในพืชได้อย่างเดียวเรียกการดำรงชีวิตแบบนี้ว่าไบโอโทรฟ โดยเชื้อสามารถ

เจริญเติบโต สร้างเส้นใยและสร้างส่วนขยายพันธุ์ได้เฉพาะในพืชอาศัยที่มีชีวิต และเรียกเชื้อสาเหตุโรคที่มีการดำรงชีวิตในรูปแบบนี้ว่าเป็นเชื้อปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต ขณะที่เชื้อสาเหตุโรคพืชชนิดอื่นที่สามารถเจริญได้ทั้งในพืชอาศัยที่มีชีวิตและเศษซากพืชโดยดูดซึมสารอาหารจากพืชอาศัยและเศษซากพืชจะเรียกโดยรวมว่าเป็นเชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต เมื่อเชื้อเข้าทำลายต้นพืชแล้วจะก่อให้เกิดผลกระทบจากการเข้าทำลายของเชื้อรา โดยเชื้อจะดูดซึมสารอาหารจากพืชทำให้มีผลกระทบต่อกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์พืช ได้แก่การสังเคราะห์แสง การหายใจ มีผลต่อความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ การเคลื่อนย้ายน้ำและสารอาหาร การถอดรหัสหรือการสร้างอาร์เอ็นเอ และการแปลรหัสในการสังเคราะห์โปรตีน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถเห็นอาการที่ผิดปกติต่างๆ ในพืชอาศัยได้แตกต่างกัน ซึ่งอาการเหล่านี้อาจเกิดเดี่ยวๆ หรืออาจเกิดติดต่อกันทั่วใบหรือลำต้น อาการของโรคที่เกิดจากเชื้อราจะมีหลายลักษณะขึ้นกับชนิดของเชื้อและส่วนของพืชอาศัยที่เชื้อเข้าทำลายซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชหรือทั้งต้น

1.8 เอกสารอ้างอิง

Agrios, G. 2005. Plant Pathology. 5th ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922 p.

Blandon, L., Mesa, A. and Orduz S. 2026. Antimicrobial peptides and artificial intelligence: promising tools for sustainable agriculture practices. Natural Product Communications 21(2): 1-27.

Burchett, S. and Burchett, S. 2018. Plant Pathology. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group. 144 p.

Cheaib, A. and Killiny, N. 2025. Photosynthesis responses to the infection with plant pathogens. Molecular Plant Microbe Interactions 38(1): 9-29.

Dean, R., Van Kan, J.A.L., Pretorius, Z.A., Hammond-Kosack, K.E., Pietro, A.D., Spanu, P.D., Rudd, J.J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J. and Foster, G.D. 2012. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology 13(4): 414–430.

Del Ponte, E.M. and Mizubuti, E.S.G. 2024. Epidemics: Disease in populations. In Oliver, R. (ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 227–245.

Fernandez, J. and Orth, K. 2018. Rise of a cereal killer: the biology of *Magnaporthe oryzae* biotrophic growth. Trends in Microbiology 26(7): 582–597.

Frost, C. 2019. Plant Pathology: An Integrated Study. Syrawood Publishing House. 233 p.

Govers, F. 2024. Diseases caused by Oomycetes. In Oliver, R. (ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 439–462.

Hariharan, G. and Prasannath, K. 2021. Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: a mini review. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology 11(10): 600234.

Huckelhoven, R. and Pillen, K. 2024. Genetics of plant disease and resistance. In Oliver, R. (ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 133–159.

Huckelhoven, R. and Schouten, A. 2024. Plant immunity and plant defense. In Oliver, R. (ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 161–208.

Lee, G.H., Min, C.W., Wang, Y., Gupta, R. and Kim, S.T. 2026. Understanding the functional role of cell wall-degrading enzymes in *Magnaporthe oryzae* and their interactions with the rice immune system. Plant Physiology and Biochemistry 231: 111027.

Marchand, G., Nicot, P.C., Albajes, R. and Carisse, O. 2020. Epidemiology and population dynamics: modelisation, monitoring and management. In: Gullino, M., Albajes, R., Nicot, P. (eds.). Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops: Plant Pathology in the 21st Century, Springer, Cham. pp. 195–230.

Nazarov, P.A., Baleev, D.N., Ivanova, M.I., Sokolova, L.M. and Karakozova, M.V. 2020. Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects in plant protection. Acta Naturae 12(3): 46–59.

Oliver, R.P. 2024. Diseases caused by *Plasmodiophorida*. In Oliver, R. (ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 429–433.

Patra, G.K., Acharya, G.K., Panigrahi, J., Mukherjee, A.K. and Rout, G.R. 2022. The soil-borne fungal pathogen *Athelia rolfsii*: past, present, and future concern in legumes. Folia Microbiologica 68(5): 677–690.

Ray, R.V. 2024. Effects of pathogens and disease on plant physiology. In Oliver, R. (ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 63–91.

Riseh, R.S., Vazvani, M.G. and Kennedy, J.F. 2023. β-glucan-induced disease resistance in plants: A review. International Journal of Biological Macromolecules 253: 127043

Shi, T.-T., Li, G.-H. and Zhao, P.-J. 2023. Appressoria—small but incredibly powerful structures in plant–pathogen interactions. International Journal of Molecular Sciences 24(3): 2141.

Simas D.L.R., Chagas F.O. and da Silva A.J.R. 2025. Plant–pathogen interaction: chemical mediation in plant signaling and defense. Phytochemistry Reviews 24(6): 5729–5745.

Singh, B.K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H. and Trivedi, P. 2023. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. Nature Reviews Microbiology 21: 640–656.

Singh, R.S. 2017. Introduction to Principles of Plant Pathology. CBS Publishers & Distributors, 416 p.

Spanu, P., Pietro, A.D. and Oliver, R.P. 2024. Pathogenicity—How do plant pathogens cause disease? In Oliver, R. (Ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 93–130.

Tronsmo, A.M., Collinge, D.B., Djurle, A., Munk, L., Yuen, J. and Tronsmo, A. 2020. Plant Pathology and Plant Diseases. CABI. 461 p.

Vitale, A. 2022. Epidemiology and control of plant diseases. Plants (Basel) 12(4): 793.

Wilson, R.A. 2021. *Magnaporthe oryzae*. Trends in Microbiology 20(7): 663–664.

Wu, Y.-Z. ,Wang J., Hu Y.-H., Geng R. and Ding L.-N. 2025. Antimicrobial peptides: classification, mechanism, and application in plant disease resistance. Probiotics and Antimicrobial Proteins 17(3): 1432-1446.

Yang, W., Zhang, L., Yang, Y., Xiang, H. and Yang P. 2024. Plant secondary metabolites-mediated plant defense against bacteria and fungi pathogens. Plant Physiology and Biochemistry 217: 109224.

Zhang, S., Li, C., Si, J., Han, Z. and Chen, D. 2022. Action mechanisms of effectors in plant-pathogen interaction. International Journal of Molecular Sciences 23(12): 6758.

Zhu, Y., Chen, Y., Xing, M., Romanazzi, G., Tian, S. and Li, B. 2026. Volatile biomarkers of fungal infection and mycotoxin contamination in fruits and vegetables: emerging targets for monitoring and early warning. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 66(10): 2060–2073.

บทที่ 2
โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Cercozoa, Oomycota และ Zygomycota (Plant Disease Caused by Fungi in Phylum Cercozoa, Oomycota และ Zygomycota)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีการปลูกพืชเศรษฐกิจได้ตลอดทั้งปีส่งผลให้มีการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชอย่างต่อเนื่อง โดยในบทที่ 2-4 จะกล่าวถึงโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้นต่างๆ ที่ก่อให้เกิดโรคพืชที่สำคัญกับพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย โดยเริ่มจากเชื้อราในชั้น Phytomyxea ไฟลัม Cercozoa ซึ่งจัดเป็นเชื้อราชั้นต่ำที่ยังอาศัยและเจริญเติบโตในน้ำจนถึงชั้นเชื้อราที่มีวิวัฒนาการสูงในไฟลัม Basidiomycota โดยเชื้อราในแต่ละชั้นจะมีวงจรชีวิต รวมทั้งวัฏจักรการเกิดโรคที่แตกต่างกัน การทราบถึงลักษณะการดำรงชีวิต วัฏจักรการเกิดโรคและสามปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องได้แก่เชื้อราสายพันธุ์รุนแรง พันธุ์พืชที่อ่อนแอ รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเกิดโรคจะเป็นแนวทางสำคัญในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรค ซึ่งจะดีกว่าการกำจัดเมื่อเชื้อราสาเหตุโรคพืชเข้าทำลายต้นพืชแล้ว

เชื้อราในชั้น Phytomyxea เป็นเชื้อที่เจริญและเข้าทำลายพืชที่มีชีวิตเท่านั้น จัดเป็นเชื้อปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต แต่สามารถอยู่รอดในดินในรูปแบบสปอร์ที่ใช้พักตัวเป็นเวลาหลายปี (Beacham *et al*., 2023; Govers, 2024) จากนั้นสามารถงอกและเข้าทำลายพืชได้เมื่อมีพืชอาศัยเจริญอยู่ใกล้เคียงและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เชื้อราจะพัฒนาเป็นพลาสโมเดียม (plasmodium) เข้าทำลายพืชและเจริญในเซลล์พืชอาศัย เชื้อราสาเหตุโรคบางชนิดในกลุ่มนี้เมื่อเข้าทำลายพืชจะส่งผลให้พืชแบ่งเซลล์และขยายใหญ่ผิดปกติเพื่อให้พืชส่งน้ำและสารอาหารมาบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย นอกจากนี้เชื้อราในกลุ่มนี้สามารถแพร่กระจายโดยการสร้างซูโอสปอร์ที่สามารถว่ายน้ำได้และเคลื่อนที่ในดินชื้นแฉะหรือน้ำได้ (Agrios, 2005; Singh, 2017; Burchett and Burchett, 2018) เชื้อราสาเหตุโรคในชั้น Phytomyxea ที่สำคัญได้แก่ *Plasmodiophora*

สาเหตุโรครากบวมของพืชตระกูลกะหล่ำ *Polymyxa* สาเหตุโรครากเน่าของธัญพืชและพืชตระกูลหญ้า และ *Spongospora* สาเหตุโรคสแคปของมันฝรั่ง

นอกจากนี้เชื้อรา *Polymyxa* และ *Spongospora* ยังสามารถเป็นพาหะของเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืชได้ด้วย โดยเชื้อ *P. graminis* เป็นพาหะของเชื้อไวรัสหลายชนิดที่เข้าทำลายธัญพืชและถั่ว ขณะที่ *P. betae* เป็นพาหะของเชื้อไวรัส beet necrotic yellow vein virus ส่วน *Spongospora* เป็นพาหะของเชื้อไวรัส potato mop-top virus ของมันฝรั่ง (Dixon, 2009; Tronsmo *et al*., 2020) ตัวอย่างโรคพืชที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่

2.1 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Phytomyxea (Plant Disease Caused by Fungi in Class Phytomyxea)

2.1.1 โรครากบวมของพืชตระกูลกะหล่ำ (Clubroot of Cabbage)

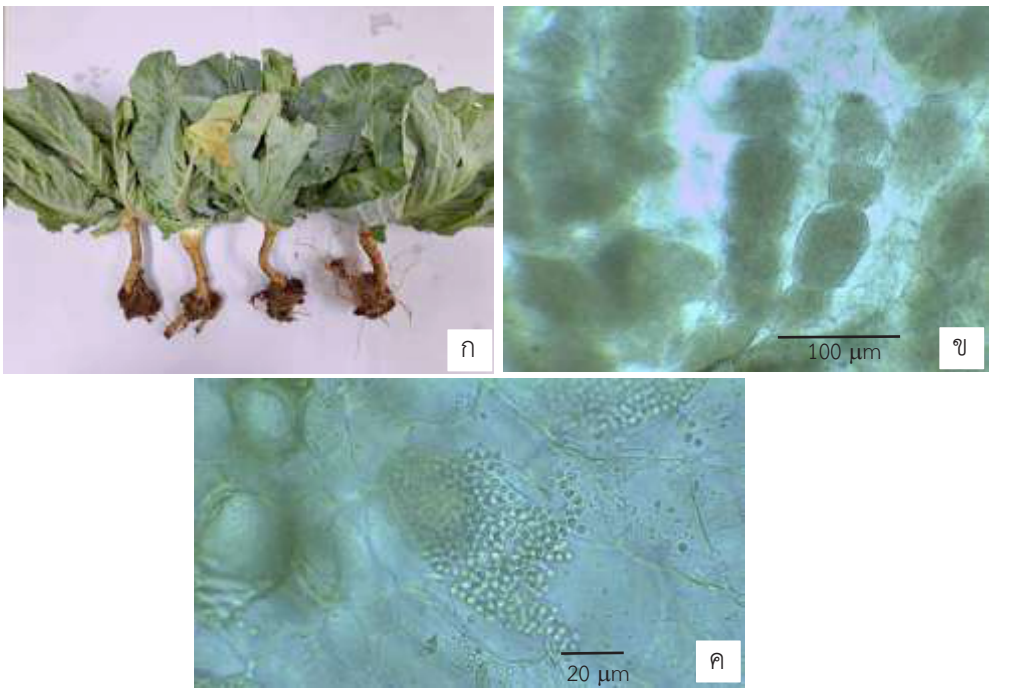
โรครากบวมเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Plasmodiophora brassicae* สามารถเข้าทำลายรากของพืชตระกูลกะหล่ำทั้งกะหล่ำหัวและกะหล่ำดอกทั่วโลก ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตในพันธุ์ที่อ่อนแอ เชื้อสามารถอาศัยอยู่ในดินและเข้าทำลายได้ต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี (Pérez-López *et al*., 2018; Liu *et al*., 2020) โดยเชื้อรา *P. brassicae* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร (Kingdom) Rhizaria
ไฟลัม (Phylum) Cercozoa
ชั้น (Class) Phytomyxea
อันดับ (Order) Plasmodiophorales
วงศ์ (Family) Plasmodiophoridae
สกุล (Genus) *Plasmodiophora*
ชนิด (species) *brassicae*

อาการ

ต้นกะหล่ำที่เชื้อเข้าทำลาย ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนหรือเหลืองซีด ต้นเหี่ยวโดยจะเห็นอาการได้ชัดในช่วงที่มีอากาศร้อน แดดแรง ต้นพืชชะงักการเจริญเติบโต ต้นไม่แข็งแรงและไม่สามารถผลิตหัวหรือดอกได้แต่ต้นพืชยังไม่ตาย ลักษณะอาการที่สำคัญของ

โรคจะพบที่รากโดยรากจะเปลี่ยนเป็นรูปร่างบวมกลมหรือบวมเป็นปุ่มปม ส่วนที่บวมอาจเกิดเป็นจุดๆ กระจายที่รากหรือแต่ละจุดอาจเชื่อมถึงกันทำให้บวมทั้งราก (ภาพที่ 2.1ก) เมื่อรากที่เป็นโรคขยายใหญ่เต็มที่แล้วรากที่บวมจะแตกออกก่อนช่วงเก็บเกี่ยว (Pérez-López *et al*., 2018; Hasan *et al*., 2021; Liu *et al*., 2020)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะอาการของโรครากบวมของต้นกะหล่ำดอก ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Plasmodiophora brassicae* ที่แปลงปลูกตำบลนครไทย อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก

ก. อาการโรครากบวมของต้นกะหล่ำดอกที่เชื้อเข้าทำลาย

ข. พลาสโมเดียมของเชื้อรา *P. brassicae* ที่เจริญในรากกะหล่ำที่เป็นโรคก่อนพัฒนาเป็นซูโอสปอร์แรงเจียม

ค. ซูโอสปอร์แรงเจียมของเชื้อรา *P. brassicae* แตกออกจากรากกะหล่ำที่เป็นโรค

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

เริ่มจากซูโอสปอร์ที่เจริญออกมาจากสปอร์ระยะพักตัวว่ายน้ำเข้าทำลายที่รากพืช และพัฒนาเป็นพลาสโมเดียมภายในรากกะหล่ำ (ภาพที่ 2.1ข) หลังจากนั้น 2-3 วัน พลาสโมเดียมจะแบ่งตัวมีหลายนิวเคลียส พัฒนาเป็นซูโอสปอร์แรงเจียม (zoosporangium) ภายในพัฒนาเป็น 4-8 ซูโอสปอร์อีกครั้ง ซูโอสปอร์แรงเจียมเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาจากเซลล์พืชจากการถูกย่อยสลายผนังเซลล์พืชให้แตกออกและปลดปล่อยซูโอสปอร์ออกไป (ภาพที่ 2.1ค) ซูโอสปอร์อาจเข้าทำลายรากพืชอาศัยอีกครั้งและพัฒนาเป็นพลาสโมเดียมใหม่ (Burchett and Burchett, 2018; Fei and Liu, 2023) ซึ่งซูโอสปอร์เหล่านี้จะเข้าทำลายรากพืชอ่อนโดยตรง ขณะที่รากแก่ที่ผนังหนาเชื้อจะเข้าทำลายผ่านทางบาดแผลหรือช่องเปิดทางธรรมชาติ หลังจากเข้าทำลายพลาสโมเดียมจะแพร่ไปยังเซลล์รากพืชและเนื้อเยื่อที่ขนานกับผิวราก เชื้อราสามารถกระตุ้นให้เซลล์รากพืชแบ่งตัวและขยายตัวอย่างผิดปกติให้มีขนาดหลายเท่ากว่าเซลล์ปกติทำให้เกิดอาการรากบวม นอกจากนี้เชื้ออาจเจริญเข้าไปในส่วนแคมเบียม (cambium) จนถึงชั้นคอร์เท็กซ์ (cortex) และท่อน้ำ (Oliver, 2024; Ray, 2024; Xu *et al*., 2025)

ขณะที่เซลล์ที่ไม่ถูกเชื้อเข้าทำลายจะเจริญตามปกติ ซึ่งนอกจากเชื้อราจะทำให้รากเจริญผิดปกติแล้วยังส่งผลให้รากดูดซึมสารอาหารและขนส่งสารอาหารผิดปกติ ส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ต้นเล็ก ไม่แข็งแรง เหี่ยว ไม่สามารถสร้างหัวหรือดอกกะหล่ำได้ตามปกติ รวมทั้งอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ซ้ำเติมชนิดอื่น (Dixon, 2009; Hasan *et al*., 2021)

การควบคุม

การควบคุมการเกิดโรคในเบื้องต้นควรหลีกเลี่ยงการปลูกพืชตระกูลกะหล่ำในแปลงที่มีประวัติที่มีเชื้อเข้าทำลาย พืชตระกูลกะหล่ำสามารถเจริญได้ดีในแปลงปลูกที่มีการระบายน้ำได้ดี ในแปลงที่มีค่าเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นกลาง 7-7.2 ซึ่งในสภาวะนี้สปอร์ของเชื้อราชนิดนี้จะงอกได้น้อยหรือไม่งอกเลยหรืออาจรมดินด้วยสารรมดิน 2 สัปดาห์ก่อนปลูก นอกจากนี้ควรปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์หรือต้นกล้าที่ปลอดโรคหรือรดน้ำด้วยน้ำที่ผสมสารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช หรือปลูกพันธุ์กะหล่ำที่เป็นพันธุ์ต้านทานต่อเชื้อราสาเหตุโรค (de Medeiros *et al*., 2021; Oliver, 2024)

2.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Oomycetes (Plant Disease Caused by Fungi in Class Oomycota)

เชื้อราในชั้น Oomycetes นับเป็นกลุ่มเชื้อราที่มีความสำคัญกับพืชเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเชื้อรา *Phytophthora* ซึ่งเข้าทำลายต้นทุเรียนก่อให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่า โดยในปัจจุบันยังคงมีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราจำนวนมากในการควบคุม ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยการผลิตที่สูงขึ้น มีผลกระทบของสารเคมีต่อผู้ใช้ ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม โดยเชื้อราในชั้น Oomycetes เป็นเชื้อราที่สร้างเส้นใยที่มีเซลลูโลสและกลูแคนเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งเชื้อราในชั้นอื่นจะไม่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ จึงมีการพัฒนาสารเคมีที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างเซลลูโลสเพื่อยับยั้งเชื้อราในชั้นนี้โดยเฉพาะ

เชื้อราในชั้นนี้จะสร้างโอโอสปอร์ (oospore) ซึ่งมาจากการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ รวมทั้งสร้างสปอร์ในระยะพักตัวและสร้างสปอร์จากการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศเป็นซูโอสปอร์ภายในซูโอสปอร์แรงเจียม ซึ่งเชื้อราในกลุ่มนี้ที่เป็นสาเหตุโรคพืชที่สำคัญในประเทศไทยจัดอยู่ในอันดับ Pythiales และ Peronosporales จะมีเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญได้แก่ *Pythium* และ *Phytophthora* ซึ่งเชื้อรา *Pythium* ก่อให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่า เมล็ดเน่า ต้นกล้าเน่าของพืชผัก ส่วน *Phytophthora* เป็นสาเหตุโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง รากเน่าโคนเน่า ผลเน่า และใบไหม้ของไม้ผลและพืชหลายชนิด (Chen *et al*., 2022; Bose *et al*., 2023)

ในชั้นนี้ยังมีเชื้อราสาเหตุโรครา น้ำค้าง (downy mildew) ได้แก่ *Pseudoperonospora*, *Bremia*, *Peronospora* และ *Plasmopara* เป็นสาเหตุโรครา น้ำค้างของพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น ผักกาด ยาสูบ องุ่น และพืชตระกูลแตง ส่วนเชื้อรา *Peronoslerospora*, *Sclerophthora* และ *Sclerospora* จะเป็นสาเหตุโรครา น้ำค้างของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย อาการของโรคที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราในชั้น Oomycetes โดยทั่วไปจะมี 2 แบบ แบบที่ 1 โรคที่ส่งผลต่อส่วนที่อยู่ในดินหรือติดกับดิน ได้แก่ราก โคนต้น หัว เมล็ด และผลที่เจริญหรือวางบนผลดิน เชื้อราที่เข้า

ทำลายได้แก่เชื้อรา *Pythium* และ *Phytophthora* บางชนิดและแบบที่ 2 โรคที่เข้าทำลายในส่วนเหนือดินโดยเฉพาะโคนต้น ใบ ต้นอ่อน และผล เชื้อที่เข้าทำลายได้แก่ *Phytophthora* เชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้างและ *Albugo* สาเหตุโรคราสนิมขาวของผักบุ้ง (Giachero *et al*., 2022; Govers, 2024; Oliver, 2024)

2.2.1 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium* (Plant Disease Caused By *Pythium*)

โรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้า โรคเน่าโคนดินหรือโรคเมล็ดเน่าของพืชผักนับเป็นโรคที่สำคัญ ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* เชื้อจะสามารถเข้าทำลายต้นกล้าของพืชผักได้หลายชนิดทั่วโลกทั้งในเขตร้อนและอบอุ่นทั้งในแปลงปลูกและโรงเรือน (Ramusi *et al*., 2017; Chen *et al*., 2022; Beacham *et al*., 2023) โดยเชื้อจะสามารถเข้าทำลายได้ทั้งเมล็ดที่ปลูกลงในดินก่อนและหลังเมล็ดงอก รากที่เจริญออกมาและต้นอ่อน ความรุนแรงของการเข้าทำลายขึ้นกับพืชที่อ่อนแอ ความชื้น อุณหภูมิและปัจจัยอื่นๆ โดยต้นกล้าในแปลงเพาะสามารถถูกทำลายได้ง่ายหลังจากปลูกถ้ามีเชื้อสะสมในดินปลูกทำให้เมล็ดที่เชื้อเข้าทำลายหลังปลูกจะงอกไม่ดีหรือเจริญช้า ต้นแก่จะถูกเข้าทำลายได้บ้างส่งผลให้เกิดแผลที่รากและลำต้น ใบเหี่ยวเจริญไม่เต็มที่และผลผลิตลดลง บางชนิดยังสามารถเข้าทำลายผลสดทั้งในแปลงปลูกหรือโรงเก็บ (Chen *et al*., 2022; Beacham *et al*., 2023; Govers, 2024) โดยเชื้อรา *P. aphanidermatum* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Chromista (หรือ Stramenopila)
ไฟลัม	Oomycota
ชั้น	Oomycetes
อันดับ	Pythiales
วงศ์	Pythiaceae
สกุล	*Pythium*
ชนิด	*aphanidermatum*

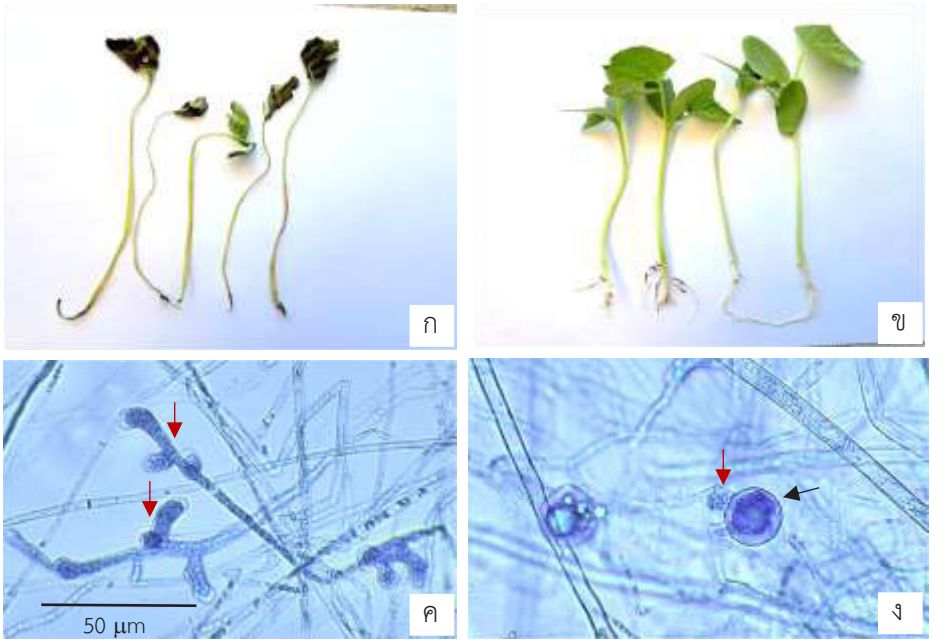
อาการ

เมื่อเมล็ดของพืชอาศัยที่อ่อนแอต่อโรค เช่น แตงกวา ปลูกลงในดินที่มีเชื้อสาเหตุโรค เมล็ดจะถูกเชื้อเข้าทำลายส่งผลให้ไม่งอก เน่า รวมทั้งเชื้อราชนิดอื่นในดินเข้าทำลายซ้ำ ต่อมาเมล็ดที่เชื้อเข้าทำลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมล็ดจะเหี่ยวและแตกออก เมล็ดที่สามารถงอกรากและต้นอ่อนออกมาเชื้อจะสามารถเข้าทำลายในทุกจุด (Agrios, 2005) ส่วนที่ถูกเชื้อราเข้าทำลายจะยุบตัวลงเกิดอาการเน่า เป็นแผลจุดหรือปื้นสีน้ำตาลฉ่ำน้ำ หลังจากการเข้าทำลายต้นกล้าจะตาย ต้นกล้าที่งอกแล้วจะถูกเข้าทำลายที่รากหรือที่โคนต้นบริเวณใกล้ดิน ที่โคนต้นบริเวณที่เชื้อเข้าทำลายจะมีแผลจุดฉ่ำน้ำ เนื้อเยื่อยุบตัวลง แผลจะขยายทำให้โคนต้นหักและต้นล้มลง หรือทำให้โคนต้นและรากเน่าเปื่อย ส่งผลให้ต้นกล้าแห้งตาย ไม่เจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติ (ภาพที่ 2.2ก-ข) (Chen *et al*., 2022; Beacham *et al*., 2023; Govers, 2024) เชื้อรา *Pythium* จะสร้างเส้นใยสีขาว เจริญได้เร็ว ต่อมาเส้นใยจะสร้างสปอร์แรงเจียม (ภาพที่ 2.2ค) ที่สามารถงอกเป็นท่อเจริญได้โดยตรง หรือสร้างเส้นใยสั้นๆ ที่ปลายเส้นใยจะพองคล้ายลูกโป่งพัฒนาเป็นเวสิเคล (vesicle) ภายในเวสิเคลนี้จะมีการสร้างซูโอสปอร์จำนวนมาก เมื่อเจริญเต็มที่ซูโอสปอร์จะถูกปล่อยออกมา เพื่อเข้าทำลายพืชต่อไป

การพัฒนาของโรค

ซูโอสปอร์ที่เชื้อราสร้างขึ้นสามารถพัฒนาให้มีผนังหนาและพักตัวในดินในกรณีที่มีสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจึงงอกเป็นท่อเจริญเจาะเข้าทำลายเนื้อเยื่อพืชได้ บางครั้งท่อเจริญจะสร้างเวสิเคลอีกเพื่อผลิตซูโอสปอร์ชุดที่สองเข้าทำลายพืชได้อีก (Govers, 2024) นอกจากนี้เส้นใยอาจสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียที่เรียกว่าโอโอโกเนียม (oogonium) รูปร่างกลมและเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เรียกว่า แอนเทอริเดียม มีรูปร่างคล้ายกระบอง (club-shaped antheridium) (ภาพที่ 2.2ง) ซึ่งเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้นี้จะสร้างท่อขนาดเล็กที่ทำหน้าที่ไปเกาะกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย เมื่อเกาะเรียบร้อยแล้วนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้จะเคลื่อนที่ผ่านท่อที่สร้างขึ้นไปผสมกับนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียและเจริญเป็นไซโกต (zygote) ต่อมาจะพัฒนาให้มีผนังหนาเป็นสปอร์จากการสืบพันธุ์แบบใช้เพศที่เรียกว่าโอโอสปอร์ ซึ่งจะทนทานต่ออุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งใช้อยู่ข้ามฤดูในดินหรือเศษซากพืช โอโอสปอร์จะงอกสร้างเส้นใยและ

สร้างสปอร์แรงเจียมเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม รูปแบบการงอกทั้งของสปอร์ระยะพักตัวและโอโอสปอร์จะขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิที่มากกว่า 18 องศาเซลเซียส จะงอกออกเป็นท่อเจริญขนาดเล็ก ขณะที่อุณหภูมิที่อยู่ระหว่าง 10-18 องศาเซลเซียสจะงอกพัฒนาสร้างเป็นซูโอสปอร์ เชื้อรา *Pythium* สามารถเจริญที่ผิวน้ำและดินชื้นแฉะได้ทั่วโลก (Agrios, 2005; Fei and Liu, 2023)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะอาการโรครากเน่าโคนเน่าของแตงกวาหรือโรคเน่าโคนดินที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* จากแปลงปลูกตำบลบางเสร่ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

ก. ลักษณะอาการของโรครากเน่าโคนเน่าของแตงกวา

ข. ลักษณะรากแตงกวาปกติ

ค. สปอร์แรงเจียมของเชื้อรา *P. aphanidermatum* KUFA 0056 (ลูกศรสีแดง)

ง. แอนเทอริเดียม (ลูกศรสีแดง) และโอโอโกเนียม (ลูกศรสีดำ) ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* KUFA 0056

(ค.-ง. ย้อมสีด้วย cotton blue)

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

เมื่อสปอร์ระยะพักตัวหรือโอโอสปอร์งอกสร้างท่อเจริญขนาดเล็กออกมาจะสามารถเข้าทำลายต้นพืชได้โดยตรง โดยการหลั่งเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายแพคตินให้เซลล์พืชแยกออกจากกัน ส่งผลให้เกิดการเน่าของเนื้อเยื่อพืช เชื้อจะเจริญเข้าไประหว่างและในเซลล์พืชที่เข้าทำลาย (Chen *et al*., 2022; Beacham *et al*., 2023; Govers, 2024) รวมทั้งเชื้อยังสร้างเอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสทำให้ผนังเซลล์แตก เมล็ดและต้นกล้าโดยเฉพาะที่โคนต้นเหนือพื้นดินจะแสดงอาการเน่า มีสารพวกซูเบอริน (suberin) และลิกนิน (lignin) ที่เชื้อไม่สามารถย่อยได้ซึมออกมา เมื่อเชื้อเข้าทำลายจนถึงชั้นคอร์เท็กซ์ เชื้อจะเจริญขึ้นมาเหนือพื้นดิน ซึ่งเนื้อเยื่อที่ถูกเชื้อเข้าทำลายจะยุบตัวลงไม่สามารถพยุงลำต้นได้ ต้นจะล้มและตายในที่สุด ในกรณีที่เชื้อเข้าทำลายในต้นที่โตแล้ว เชื้อจะเข้าทำลายเซลล์พืชไปจนถึงส่วนลิกนินของพืช เชื้อจะหยุดการเข้าทำลายจะพบเพียงอาการแผลเล็กๆ (Oliver, 2024)

นอกจากนี้เชื้อรา *Pythium* สามารถเข้าทำลายผลสดหรือส่วนอื่นๆ ของพืช ในแปลง โรงเก็บ ระหว่างขนส่งหรือวางจำหน่าย การเข้าทำลายจะเริ่มที่จุดที่ผลสดสัมผัสกับดินเปียกที่มีเชื้อ เชื้อจะหลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยเนื้อเยื่อ ทำให้นุ่ม เน่าและฉ่ำน้ำ เช่นเชื้อสามารถเข้าทำลายผลของแตงกวาที่สัมผัสดินและจะแสดงอาการเน่าภายใน 3 วัน รวมทั้งพบการสร้างสปอร์แรงเจียมตามด้วยการสร้างโอโอสปอร์ทั้งภายนอกและภายในของเนื้อเยื่อพืช (Chen *et al*., 2022; Beacham *et al*., 2023; Govers, 2024) เชื้อรา *Pythium* จะเข้าทำลายพืชรุนแรงในดินที่เปียกชื้นเป็นเวลานานและมีอุณหภูมิเหมาะสม มีไนโตรเจนสูงในดินมีการปลูกพืชซ้ำๆ ในดินเดิม และสามารถระบาดรุนแรงในพื้นที่ที่ชื้นแฉะมีน้ำท่วมขัง เชื้อรา *Pythium* สามารถอยู่รอดในดินมากกว่า 10 ปีในรูปแบบโอโอสปอร์ที่เป็นสปอร์ผนังหนาเมื่อดินมีความชื้นโอโอสปอร์จะสามารถงอกและสร้างซูโอสปอร์ว่ายน้ำไปเข้าทำลายพืชได้ เมื่อเข้าทำลายพืชแล้วเชื้อสามารถสร้างซูโอสปอร์เพิ่มเข้าทำลายพืชซ้ำและแพร่กระจายไปต้นข้างเคียง (de Medeiros *et al*., 2021)

การควบคุม

การควบคุมเชื้อรา *Pythium* ในโรงเรือนสามารถป้องกันกำจัดโรคได้โดยการทำให้ดินปลอดเชื้อโดยการใช้ไอน้ำหรือไอร้อนรมดินเพื่อกำจัดสปอร์ที่อยู่ในระยะพักตัว รวมทั้งใช้สารเคมีคลุกเมล็ดก่อนปลูก การทำความสะอาดโต๊ะในโรงเรือนและอุปกรณ์ที่ใช้หรือฆ่า

เชื้อด้วยสารเคมี ในแปลงปลูกสามารถทำได้โดยการคลุกเมล็ดด้วยเชื้อราและแบคทีเรียปฏิปักษ์ หรือใช้สารเคมีผสมหลายชนิดที่มีฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดโรคได้ (Arora *et al*., 2021; Oliver, 2024) ซึ่งการคลุกเมล็ดตามด้วยการฉีดพ่นต้นกล้าด้วยสารเคมีชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันกับที่ใช้คลุกเมล็ดสามารถช่วยในการควบคุมโรคได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในดินที่ชื้นแฉะมีน้ำขังเป็นเวลานานในช่วงระยะเวลาก่อนปลูก นอกจากนี้การใช้วิธีการเขตกรรมก็จะช่วยลดปริมาณเชื้อและการเข้าทำลายของเชื้อ เช่น การกำจัดเศษซากพืช การจัดการระบายน้ำและอากาศในแปลงปลูก การปลูกพืชในสภาพแวดล้อมที่ดีจะช่วยให้พืชเจริญเติบโตเร็วและแข็งแรง ไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไป และควรปลูกพืชหมุนเวียน สำหรับพืชที่ปลูกในโรงเพาะหรือการปลูกไม้ดอก ควรใช้เปลือกไม้บดละเอียดแทนวัสดุที่อมน้ำจะช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium* สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าได้ดี (Agrios, 2005; de Medeiros *et al*., 2023)

2.2.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* (Plant Disease Caused By *Phytophthora*)

เชื้อรา *Phytophthora* หลายชนิด สามารถเข้าทำลายพืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ผลและไม้ป่าได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงก่อนเก็บเกี่ยว โดยทำให้เป็นโรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้าคล้ายกับอาการของโรคที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium* รวมทั้งก่อให้เกิดโรคโคนเน่า ผลและหัวเน่า (Chen *et al*., 2020; Dong and Zhou, 2022) บางชนิดเข้าทำลายพืชอาศัยได้จำเพาะเจาะจง บางชนิดสามารถเข้าทำลายกับพืชหลายชนิด เช่น เชื้อรา *Phytophthora infestans* สาเหตุโรคใบไหม้ของมันฝรั่งและมะเขือเทศจะเข้าทำลายรุนแรงกับพืชอาศัยที่อ่อนแอและส่งผลต่อผลผลิต นอกจากนี้เชื้อ *P. cactorum*, *P. cambivora*, *P. cinnamoni*, *P. citrophthora*, *P. fragariae*, *P. palmivora* และ *P. syringae* สามารถเข้าทำลายรากและโคนต้น บางชนิดเป็นสาเหตุโรคแคงเกอร์ กิ่งไหม้และผลเน่าของไม้ผล ไม้ป่า รวมทั้งผักและไม้ดอกไม้ประดับ (Agrios, 2005) ส่วนเชื้อรา *P. capsici*, *P. cryptogea*, *P. megasperma* และ *P. parasitica* สามารถก่อให้เกิดโรคลำต้นเน่า ผลเน่าของผัก ไม้ดอกไม้ประดับและไม้ยืนต้นบางชนิด (Giachero *et al*., 2022)

อย่างไรก็ตามอาการของรากและโคนเน่านี้จะพบรุนแรงในแปลงที่เปียกชื้นแฉะและมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เชื้อจะเข้าทำลายรุนแรงในพันธุ์พืชที่อ่อนแอเหมาะที่เชื้อ

เข้าทำลาย พืชสามารถยืนต้นตายได้ภายในเวลาเพียงสองสามวัน เป็นสัปดาห์หรือหลายเดือนนับจากเชื้อเข้าทำลาย ในบางกรณีเชื้อรา *Phytophthora* สามารถเข้าทำลายส่วนของผล เช่น พริก แตง มะเขือเทศ ทุเรียน ส้ม โกโก้ ในพืชยืนต้นการเข้าทำลายรากและโคนต้นจะเป็นแบบช้าหรือเร็วขึ้นกับเชื้อราสายพันธุ์รุนแรงที่พบในดินและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ส่งผลให้พืชแสดงอาการใบร่วง ใบเหลืองไม่สมบูรณ์ ต้นโทรม กิ่งก้านแห้งตาย เช่น โรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน ส้ม อโวกาโด (Chen *et al*., 2022; Giachero *et al*., 2022) ถ้าเชื้อเข้าทำลายรากอ่อนหรือรากของต้นกล้าจะตาย ถ้าเข้าทำลายรากแก่จะเกิดแผลจุดสีน้ำตาลที่ราก ถ้าเข้าทำลายรากของพืชอวบน้ำรากของพืชทั้งหมดจะเน่าและตายอย่างรวดเร็ว ในสตรอเบอร์รี่รากแขนงจะเน่าหรือเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยเริ่มพบอาการของโรคที่ปลายราก ในช่วงหลังเก็บเกี่ยวรากจะแสดงรากแดง ซึ่งเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อ *P. fragariae* (Chen *et al*., 2020; Fei and Liu, 2023; Wang and Long, 2023)

การควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Phytophthora* ขึ้นกับพันธุ์พืชที่ปลูกเป็นสำคัญ ถ้าเป็นพันธุ์อ่อนแอแต่ปลูกในที่ที่ไม่มีเชื้อหรือแปลงระบายน้ำได้ดี จะสามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อได้ (Volynchikova and Kim, 2022) หากแปลงปลูกมีเชื้ออยู่หรือระบายน้ำไม่ดีควรปลูกพันธุ์ต้านทาน สำหรับการปลูกในกระถางหรือโรงเรือน ดินที่ใช้ปลูกควรฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำหรือใช้สารเคมีกลุ่มดูดซึมรวมทั้งคลุกเมล็ดก่อนปลูก ราดดิน ชุบพืชหรือใส่สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราร่วมกับการให้น้ำ (Agrios, 2005; Oliver, 2024) นอกจากนี้อาจฉีดสารเคมีเข้าต้นพืชโดยตรงเพื่อรักษาอาการของโรคในพืชยืนต้นที่เชื้อเข้าทำลายแล้ว หรือราดดินรอบๆ โคนต้นเพื่อยับยั้งการเข้าทำลาย นอกจากนี้ในพืชยืนต้นมีการใช้ต้นตอ (rootstock) พันธุ์ต้านทานเพื่อป้องกันการเข้าทำลายที่รากและโคนต้น ในการควบคุมโรครากเน่าในสตรอเบอร์รี่ จะทำการฆ่าเชื้อในดินโดยการรมดิน หรือใช้เชื้อปฏิปักษ์หรือสารอนินทรีย์ที่เป็นพิษต่อเชื้อราในชั้น Oomycetes เป็นต้น รวมทั้งการใช้ปุ๋ยเปลือกไม้ผสมดินหรือวัสดุปลูกที่ผสมดินปลูกพืชน้อยที่สุดในโรงเรือน เพื่อลดปริมาณและจำกัดการเจริญของเชื้อ (Sanogo *et al*., 2023; Wang and Long, 2023)

2.2.2.1 โรคใบไหม้ของมันฝรั่ง (Leaf Blight of Potato)

โรคใบไหม้ของมันฝรั่งเป็นโรคที่ร้ายแรงและส่งผลต่อผลผลิตมันฝรั่งทั่วโลก โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตหนาว เช่นทางตอนเหนือของประเทศสหรัฐอเมริกาและแถบตะวันออกของประเทศแคนาดา ทางตะวันตกของประเทศแถบยุโรปและทางใต้ของประเทศบราซิล (Agrios, 2005) ซึ่งต้องมีการเฝ้าระวังไม่ให้เกิดการระบาดในพื้นที่ปลูกมันฝรั่งในแถบภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้เชื้อราสาเหตุโรคนี้ยังเข้าทำลายมะเขือเทศและพืชอื่นๆ ในวงศ์ Solanaceae โดยเชื้อจะเข้าทำลายใบและลำต้นของต้นมันฝรั่งอย่างรวดเร็วในช่วงฤดูปลูก ตามด้วยการเข้าทำลายหัวมันฝรั่งในแปลง ซึ่งส่งผลให้ต้นพืชตายอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 อาทิตย์ถ้ามีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม (Giachero *et al*., 2022) หัวมันฝรั่งที่ถูกเชื้อเข้าทำลายจะเน่าในแปลงและโรงเก็บรวมทั้งจะแพร่ระบาดในแปลงและโรงเก็บต่อได้ ซึ่งโรคนี้ในอดีตเป็นโรคที่ร้ายแรงในการเกิดเหตุการณ์ Irish famine ที่ส่งผลทำให้มีคนตายจำนวนมากเนื่องจากการขาดแคลนมันฝรั่งในการบริโภคในประเทศไอร์แลนด์ (Ireland) ในปี ค.ศ. 1845 ซึ่งต่อมาได้มีการค้นพบว่าเชื้อรา *Phytophthora infestans* เป็นเชื้อราสาเหตุของโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง (Ndala *et al*., 2019; Wang and Long, 2023) โดยเชื้อรา *P. infestans* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Chromista (หรือ Stramenopila)
ไฟลัม	Oomycota
ชั้น	Oomycetes
อันดับ	Pythiales
วงศ์	Pythiaceae
สกุล	*Phytophthora*
ชนิด	*infestans*

ในพันธุ์มันฝรั่งที่อ่อนแอเชื้อสามารถสร้างโอโอสปอร์ได้บนพื้นที่ใบหรือส่วนต่างๆ ของพืช ซึ่งโอโอสปอร์สามารถอยู่ในดินได้ถึง 3-4 ปี เส้นใยหรือโอโอสปอร์ที่เจริญในหัวมันฝรั่งที่ถูกเข้าทำลายจะงอกออกมาสร้างซูโอสปอร์ เคลื่อนที่ไปเข้าทำลายต้นข้างเคียงทำให้โรคกระจายเป็นวงกว้างในแปลงปลูก (Govers, 2024) เชื้อสาเหตุโรค *P. infestans* สร้าง

เส้นใยและสร้างก้านชูสปอร์แรงเจียม (sporangiophore) ที่แตกกิ่งก้านและสร้างสปอร์แรงเจียมที่ปลายก้านชูสปอร์แรงเจียม โดยภายในสปอร์แรงเจียมจะสร้าง 8 ซูโอสปอร์ถ้ามีอุณหภูมิที่ 12 – 15 องศาเซลเซียส ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส สปอร์แรงเจียมจะงอกเป็นท่อเจริญโดยตรง (Bassani *et al*., 2022; Bose *et al*., 2023) เชื้อรามีระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศโดยเชื้อจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ที่มีรูปร่างคล้ายเส้นใยที่เรียกว่าแอนเทอริเดียมและสร้างโครงสร้างเพศเมียรูปร่างกลมที่เรียกว่าโอโอโกเนียมเหนือแอนเทอริเดียม เมื่อแอนเทอริเดียมเข้าผสมโอโอโกเนียมจะพัฒนาเป็นโอโอสปอร์ที่มีผนังหนา โอโอสปอร์จะงอกเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่ผลิตสปอร์แรงเจียมหรือเจริญเป็นเส้นใยได้โดยตรงเพื่อเข้าทำลายพืชต่อไป (Dong and Zhou, 2022; Giachero *et al*., 2022)

เมื่อเส้นใยของเชื้อราเข้าทำลายและเจริญไปยังส่วนต่างๆ ของต้นมันฝรั่งจะสร้างก้านชูสปอร์แรงเจียมเจริญออกมาจากปากใบหรือส่วนต่างๆ ของลำต้น ที่ปลายก้านชูสปอร์แรงเจียมจะสร้างสปอร์แรงเจียมเมื่อแก่เต็มที่จะสามารถปลิวไปตามลม ฝน และตกลงใบพืชหรือลำต้นที่เปียกของต้นมันฝรั่ง (Dong and Zhou, 2022; Giachero *et al*., 2022) ซึ่งจะสามารถงอกและเข้าทำลายซ้ำ สปอร์แรงเจียมสามารถงอกเป็นเส้นใยเข้าทำลายโดยตรงหรือเข้าทำลายทางปากใบ เส้นใยจะสามารถเจริญระหว่างเซลล์เพื่อดูดซึมสารอาหารและเจริญแพร่กระจายไปเซลล์ต่อๆ ไป ถ้ามีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมหลังจากเข้าทำลาย 3-4 วัน จะสร้างก้านชูสปอร์อันใหม่งอกมาจากปากใบเพื่อผลิตสปอร์แรงเจียมจำนวนมากที่แพร่กระจายไปยังต้นอื่นต่อไป

การควบคุม

โรคใบไหม้สามารถควบคุมได้โดยการเขตกรรมหรือใช้หลายวิธีร่วมกันทั้งการทำความสะอาดแปลง ใช้พันธุ์ต้านทานและใช้สารเคมีควบคุม ใช้หัวพันธุ์หรือเมล็ดที่ปลอดโรค กำจัดเศษซากพืชออกจากแปลงหรือเผาทำลายก่อนการปลูก (Volynchikova and Kim, 2022; Phetkhajone *et al*., 2024) กำจัดต้นกล้าที่งอกในแปลงเดิมออกให้หมดก่อนการปลูกใหม่ซึ่งต้นที่ถูกเชื้อเข้าทำลายหรือเศษซากพืชจะเป็นแหล่งของเชื้อที่จะเข้าทำลายต้นใหม่ ซึ่งเชื้อนี้จะมีสายพันธุ์ที่หลากหลายที่มีความรุนแรงแตกต่างกันที่สามารถเข้าทำลายมันฝรั่งได้หนึ่งหรือหลายสายพันธุ์ ในมันฝรั่งป่าจะมียีนต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อ ถึงแม้ว่าจะปลูกพันธุ์ต้านทานก็ควรฉีดพ่นสารเคมีเพื่อกำจัดเชื้อให้มากที่สุด โดยใช้สารสลับ

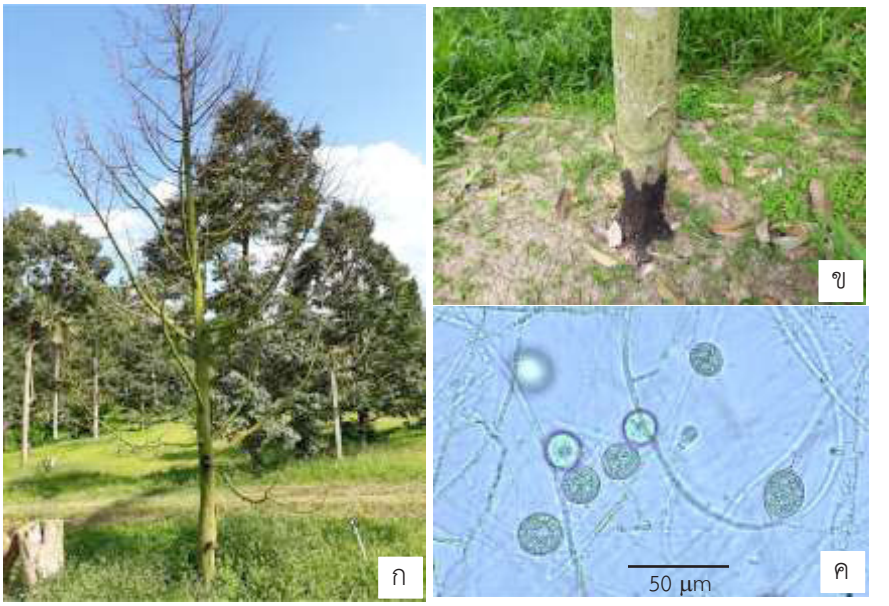
ในกลุ่มดูดซึมฉีดพ่น แต่สายพันธุ์เชื้อที่พัฒนามาจากการสืบพันธุ์แบบใช้เพศมีรายงานว่าสามารถต้านทานต่อสารเมทาแลกซิล (metalaxyl) อย่างไรก็ตามเชื้อสามารถอยู่ข้ามฤดูได้ในใบและต้น จึงควรเก็บเศษซากพืชออกและฉีดพ่นฆ่าเชื้อในดินรวมทั้งกำจัดหญ้าเพื่อลดแหล่งอาศัยของเชื้อในแปลงปลูก (Baysal-Gurel *et al*., 2018; Beacham *et al*., 2023)

2.2.2.2 โรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน (Rot and Stem Rot of Durian)

โรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* นับเป็นโรคที่ร้ายแรงก่อให้เกิดความเสียหายของผลผลิตจำนวนมากในพื้นที่ที่ปลูกทุเรียน โดยเฉพาะในทุเรียนพันธุ์อ่อนแอ เช่น พันธุ์หมอนทอง (รัติยา, 2566; Tongsri *et al*., 2023; Phetkhajone *et al*., 2024)

อาการ

เชื้อราสาเหตุโรคจะเข้าทำลายที่รากและโคนต้นส่งผลต่อการขนส่งน้ำและสารอาหารไปยังใบและยอด ทำให้ใบไม่สมบูรณ์ ไม่เป็นมันเหมือนใบทุเรียนปกติ อาการเริ่มแรกใบจะเริ่มเป็นจุดหรือปื้นคราบน้ำสีเหลือง ต่อมาใบและกิ่งด้านที่เชื้อราเข้าทำลายโคนต้นจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากขาดน้ำ กิ่งโทรมเหี่ยวแห้ง ถ้าเชื้อเข้าทำลายรุนแรง ใบจะร่วงหมดต้น ต้นจะโทรมและยืนต้นตาย (ภาพที่ 2.3ก) (Tongsri *et al*., 2023; Sichai *et al*., 2024) อาการที่โคนต้นจะพบอาการเน่าที่ผิวเปลือกของโคนต้นมีลักษณะฉ่ำน้ำ สีน้ำตาลเข้ม ถ้ามีอากาศชื้นจะพบหยดน้ำหรือมีหยดน้ำสีน้ำตาลแดงไหลออกมา เมื่อถากเปลือกของโคนต้นบริเวณที่มีลักษณะเน่า จะพบเนื้อเยื่อภายในเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงหรือน้ำตาลเข้ม ขณะที่เนื้อไม้ปกติจะมีสีครีมอมเขียว (ภาพที่ 2.3ข) (รัติยา, 2566; Somnuek *et al*., 2023) นอกจากนี้จะพบอาการเน่าที่รากแขนงหรือรากฝอย เนื้อเยื่อรากจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เน่าเปื่อยเมื่อดึงเบาๆ จะขาดออกจากกันได้ง่าย เชื้อราจะสร้างสปอร์ที่ใช้พักตัวในดินเมื่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะอากาศแห้งแล้ง แต่เมื่อมีความชื้นหรือฝนตกสปอร์นี้จะงอกออกมาเป็นสปอร์แรงเจียมลักษณะกลมหรือกลมรี (ภาพที่ 2.3ค) ภายในมีการสร้างซูโอสปอร์ ที่สามารถว่ายน้ำเคลื่อนที่ไปเข้าทำลายต้นทุเรียนที่อยู่ใกล้เคียง (รัติยา, 2566; Bassani *et al*., 2020; Somnuek *et al*., 2023)



ภาพที่ 2.3 อาการของโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่แปลงปลูกตำบลบางสวรรค์ อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ก. ลักษณะต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่เป็นโรครากเน่าโคนเน่า

ข. ลักษณะโคนต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่เป็นโรครากเน่าโคนเน่า

ค. สปอร์แรงเจียมของเชื้อรา *P. palmivora* KUFA 0251

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

เชื้อราสามารถพักตัวได้ในช่วงฤดูหนาวหรือฤดูร้อนโดยการสร้างสปอร์ที่มีผนังหนา เช่นโอโอสปอร์ คลาไมโดสปอร์ (chlamydospore) หรือเส้นใยที่เจริญในรากหรือลำต้น และจะงอกเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมโดยงอกเป็นเส้นใยสร้างสปอร์แรงเจียมและซูโอสปอร์ เส้นใยและซูโอสปอร์สามารถสร้างเพิ่มได้อย่างต่อเนื่องในดินเปียกและเข้าทำลายพืชซ้ำ ซึ่งซูโอสปอร์สามารถว่ายน้ำในดินและเข้าทำลายรากและโคนของต้นทุเรียนต้นใหม่ได้ เชื้อราสามารถสร้างเอนไซม์หลายชนิดย่อยสลายผนังเซลล์พืชทำให้รากและโคนต้นเน่า (รัติยา, 2566; Tongsri *et al*., 2023; Sichai *et al*., 2024)

การควบคุม

เก็บชิ้นส่วนของผลที่เน่าร่วงหล่นออกจากแปลง ถากส่วนที่เป็นโรคที่บริเวณโคนต้นออกให้หมดจนถึงเนื้อไม้แล้วทารอยแผลด้วยปูนขาวหรือสารป้องกันกำจัดโรคพืชประเภทสารประกอบคอปเปอร์และสารเคมีประเภทดูดซึม เช่น เมทาแลกซิล คอปเปอร์ออกซีคลอไรด์ (copper oxychloride) ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม (fosetyl-Al) เป็นต้น หรือฉีดเข้าลำต้นด้วยกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ระบายน้ำออกจากแปลงอย่าให้ท่วมขัง บำรุงดินด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เพื่อลดปริมาณเชื้อในดิน (รัติยา, 2566; Somnuek *et al*., 2023; Tongsri *et al*., 2023; Phetkhajone *et al*., 2024)

2.3 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Peronosporomycetes (Plant Disease Caused by Fungi in Class Peronosporomycetes)

เชื้อราในชั้น Peronosporomycetes ก่อให้เกิดโรคราน้ำค้างทำให้เกิดอาการใบไหม้ นอกจากนี้เชื้อยังสามารถเข้าทำลายช่อดอก กิ่ง และผล การเข้าทำลายจะพัฒนาอย่างรวดเร็วถ้ามีแผ่นฟิลม์น้ำเคลือบบนผิวใบหรือมีความชื้นในอากาศในช่วงอากาศหนาวหรืออบอุ่น (Agrios, 2005) เชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้างจัดอยู่ในวงศ์ Peronosporaceae เชื้อราทุกชนิดที่อยู่ในวงศ์นี้เป็นเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต โรคราน้ำค้างที่รู้จักกันดีคือโรคราน้ำค้างขององุ่นที่พบครั้งแรกในช่วง ค.ศ. 1800s ส่งผลกระทบต่อผลผลิตองุ่นในอุตสาหกรรมการทำไวท์ในประเทศฝรั่งเศษและประเทศในแถบยุโรป หลายปีต่อมาพบโรคราน้ำค้างในข้าวฟ่างทั่วประเทศสหรัฐอเมริกาและธัญพืชในประเทศแถบเอเชียและแอฟริกา (Burchett and Burchett, 2018; Capriotti *et al*., 2020; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024) ในปี ค.ศ. 1979 มีการพบการแพร่ระบาดอย่างรุนแรงของโรคราน้ำค้างยาสูบที่แพร่จากรัฐฟลอริดาไปยังฝั่งตะวันออกที่รัฐนิวอิงแลนด์และประเทศแคนาดาทำลายอุตสาหกรรมการผลิตใบยาสูบ (Pedneault and Provost, 2016; Burchett and Burchett, 2018)

เชื้อราสาเหตุโรคจะสร้างสปอร์แรงเจียมที่ปลายของก้านชูสปอร์แรงเจียมที่มีรูปร่างยาวและแตกกิ่งก้าน เริ่มแรกก้านชูสปอร์แรงเจียมจะมีสีขาวต่อมาเปลี่ยนเป็นสีเทา

จนถึงสีน้ำตาลเจริญออกมาจากปากใบทั้งด้านบนใบและใต้ใบ ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสปอร์แรงเจียมจะสร้างซูโอสปอร์ แต่ถ้ามีอุณหภูมิสูงจะงอกเป็นท่อเจริญแทน ในเชื้อราสกุล *Bremia* จะสร้างสปอร์แรงเจียมซึ่งจะงอกเป็นท่อเจริญเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เชื้อรา *Peronospora* และ *Peronosclerospora* สร้างสปอร์แรงเจียมที่งอกเป็นท่อเจริญสร้างซูโอสปอร์ปล่อยออกไป (Pedneault and Provost, 2016; Burchett and Burchett, 2018; Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023)

เชื้อราสาเหตุโรคสามารถติดไปกับเมล็ด หัวและท่อนพันธุ์ซึ่งสามารถเข้าทำลายต้นกล้าหรือระยะต้นอ่อน โดยสามารถเข้าทำลายได้ทั้งในโรงเรือนและแปลงปลูก ก่อให้เกิดความเสียหาย 40-90 เปอร์เซ็นต์ในต้นอ่อนหรือยอดอ่อนในแปลง ซึ่งความรุนแรงของโรคขึ้นกับระยะช่วงเวลาความชื้น ความเย็นหรือสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ที่เหมาะสมช่วยให้เชื้อสามารถสร้างซูโอสปอร์เข้าทำลายซ้ำและแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว ในสภาพแวดล้อมที่เย็น มีความชื้น โรคราน้ำค้างจะควบคุมได้ยากดังนั้นควรฉีดพ่นสารเคมีในช่วงเวลาดังกล่าว (Agrios, 2005; Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024) โรคราน้ำค้างที่สำคัญได้แก่

2.3.1 โรคราน้ำค้างขององุ่น (Downy Mildew of Grape)

โรคราน้ำค้างขององุ่นพบได้ในแทบทุกประเทศที่ปลูกองุ่น เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Plasmopara viticola* พบว่าเชื้อนี้ได้เข้าไประบาดที่ประเทศแถบยุโรปในช่วงปี ค.ศ. 1870s โดยเชื้อติดมาจากท่อนพันธุ์ที่นำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา และได้เข้าทำลายแปลงองุ่น (*Vitis vinifera*) อย่างรุนแรงเนื่องจากองุ่นที่ปลูกในประเทศแถบยุโรปเป็นพันธุ์อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อเป็นอย่างมากทำให้เชื้อแพร่ระบาดที่ประเทศฝรั่งเศษและประเทศต่างๆ ในแถบยุโรปอย่างรวดเร็ว (Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024) โดยเชื้อรา *P. viticola* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Chromista (หรือ Stramenopila)
ไฟลัม	Oomycota
ชั้น	Peronosporomycetes
อันดับ	Peronosporales
วงศ์	Peronosporaceae
สกุล	*Peronospora*
ชนิด	*viticola*

อาการ

เชื้อสามารถเข้าทำลายทุกส่วนเหนือดินโดยเฉพาะที่ใบ โดยจะพบมีอาการเริ่มแรกเป็นจุดเหลี่ยมขนาดเล็กสีเหลืองอ่อนบนผิวใบและพบกลุ่มก้านชูสปอร์แรงเจียมสีขาวเป็นปื้นด้านใต้ใบ (ภาพที่ 2.4ก) ต่อมาบริเวณเนื้อเยื่อพืชที่เชื้อเข้าทำลายจะถูกทำลายและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ขนาดแผลจะไม่แน่นอนซึ่งรูปร่างแผลจะถูกจำกัดด้วยเส้นใบ ใบที่ถูกทำลายทำให้สูญเสียพื้นที่ใบและทำให้ใบร่วง เชื้อสามารถเข้าทำลายผลและยอดของอ่อนทำให้ผลผลิตต่ำไม่มีคุณภาพ ถ้าต้นอ่อนไม่ตายจะทำให้ต้นอ่อนแอ หงิกงอ และยอดอ่อนไม่เจริญ ในสถาวะที่เหมาะสมและไม่มีการป้องกันโรคที่ดีจะส่งผลต่อผลผลิตลดลงได้ 50-75 เปอร์เซ็นต์ (Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024)

เมื่ออายุมากขึ้นบริเวณที่สร้างก้านชูสปอร์แรงเจียมจะเปลี่ยนเป็นสีเทา แผลที่ใบอาจมีจำนวนมากและแผลอาจขยายใหญ่เชื่อมติดกันทำให้ใบแห้งตาย ใบร่วง ยอดอ่อนหรือส่วนของพืชที่ยังอ่อนถ้าถูกเชื้อเข้าทำลาย จะถูกเชื้อเจริญปกคลุมอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตตามปกติและแห้งตายในที่สุด เชื้อสามารถเข้าทำลายช่อดอกและผลสามารถพบเส้นใยและก้านชูสปอร์สีขาวใสปกคลุมทั่วช่อดอกและผลอ่อน ทำให้ผลเน่าเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 2.4ข) (Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024)



ภาพที่ 2.4 อาการของโรคราน้ำค้างขององุ่นที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Plasmopara viticola* ที่แปลงปลูกตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ก. ลักษณะอาการของโรคราน้ำค้างที่ใต้ใบองุ่น

ข. ลักษณะอาการของโรคราน้ำค้างที่พวงองุ่น

ค. ก้านชูสปอร์แรงเจียมและสปอร์แรงเจียมของเชื้อรา *P. viticola*

ที่มา: ภาพถ่ายโดย สรินนา อำรุ่ง (ก และ ค) และ ธิดา เดชฮวบ (ข)

เชื้อราจะสร้างเส้นใยเข้าทำลาย เจริญระหว่างเซลล์พืชและสร้างฮอตโตเรียมรูปร่างกลมเจริญเข้าเซลล์พืชเพื่อดูดซึมสารอาหาร เมื่อเจริญเต็มที่เส้นใยจะสร้างกลุ่มของก้านชูสปอร์แรงเจียมออกมาจากปากใบ ผิวลำต้นหรือที่ผิวผลผ่านช่องเปิดต่างๆ ซึ่งกิ่งก้านของก้านชูสปอร์แรงเจียมจะมีการแตกแบบ 90 องศาจากส่วนก้าน แต่ละก้านที่แตกออกมาจะแตกกิ่งเพิ่ม 2-3 กิ่งในรูปแบบเดียวกันที่ปลายจะมีการสร้างสปอร์แรงเจียมรูปทรงคล้ายผลมะนาวเกิดเดี่ยวๆ ที่ปลายกิ่ง (ภาพที่ 2.4ค) เชื้อรา *P. viticola* มีการสร้างสปอร์การสืบพันธุ์แบบใช้เพศที่เรียกว่าโอโอสปอร์เพื่อใช้อยู่ข้ามฤดู (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024)

การพัฒนาของโรค

เชื้อราจะอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบโอโอสปอร์ที่เจริญในใบหรือยอดขององุ่นที่เชื้อเข้าทำลาย หรือเส้นใยที่เจริญในกิ่ง ในช่วงฤดูฝนโอโอสปอร์จะงอกและสร้างสปอร์แรงเจียม ซึ่งจะแพร่กระจายได้ง่ายโดยลมหรือน้ำไปยังใบอื่นที่เปียกและเข้าทำลายองุ่นโดยเข้าทำลายผ่านทางปากใบที่ใต้ใบ เส้นใยสามารถเจริญระหว่างเซลล์และเจริญไปสู่ช่องว่างขนาดเล็กที่อยู่ใต้ปากใบ (Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024) ต่อมาจะสร้างส่วนที่เรียกว่า cushion ซึ่งจะพัฒนาเป็นกลุ่มก้านชูสปอร์แรงเจียมเจริญออกมาจากปากใบ ที่ปลายของก้านชูสปอร์แรงเจียมจะสร้างสปอร์แรงเจียมที่สามารถกระจายต่อไปได้โดยลม ฝนแล้วตกลงในใบอื่นใกล้เคียงและเข้าทำลายซ้ำอย่างรวดเร็ว (Pedneault and Provost, 2016; Burchett and Burchett, 2018; Toffolatti *et al*., 2024)

โดยในหนึ่งฤดูเชื้อสามารถเข้าทำลายซ้ำได้หลายครั้ง ในแต่ละครั้งใช้เวลาเพียง 5-18 วันขึ้นกับอุณหภูมิ ความชื้นและความอ่อนแอของพันธุ์องุ่น ในส่วนของการเข้าทำลายลำต้นนั้นจะพบเส้นใยเจริญในเซลล์พืชบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์จำนวนมากทำให้กิ่งบิดเบี้ยวและแห้งแตก เซลล์เนื้อเยื่อพืชจะถูกทำลายและยุบตัวลงปรากฏอาการแผลสีน้ำตาล อาการที่ผลอ่อนเชื้อจะเข้าทำลายโดยตรงแล้วเจริญระหว่างเซลล์ เซลล์ยุบตัวลง ผลจะแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลติดอยู่ที่ก้านหรือร่วงลงมา (Agrios, 2005; Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024)

การควบคุม

องุ่นสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศสหรัฐอเมริกาจะต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรคนี้ ขณะที่องุ่นสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศแถบยุโรปจะอ่อนแอต่อโรคมาก แต่ถึงแม้จะปลูกสายพันธุ์ต้านทานก็ควรฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชนี้ด้วยสารกลุ่มคอปเปอร์ เช่น บอร์โดมิกเจอร์ (Bordeaux mixture) สารป้องกันกำจัดโรคพืชประเภทดูดซึมอื่นๆ ควรฉีดพ่นก่อนดอกบานและทุก 7-10 วันขึ้นอยู่กับสภาพฝน ฤดูที่ปลูก ซึ่งจะรวมถึงระยะเวลาใบเปียก ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ซึ่งสามารถนำมาประกอบการพิจารณาในการฉีดพ่นสาร ปัจจุบันการใช้สารกลุ่มคอปเปอร์ร่วมกับสารกลุ่มดูดซึมสามารถควบคุมโรคได้ดี

(Capriotti *et al*., 2020; Velasquez-Camacho *et al*., 2023; Clippinger *et al*., 2024; Toffolatti *et al*., 2024)

2.4 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Zygomycota (Plant Disease Caused by Fungi in Phylum Zygomycota)

เชื้อราในชั้น Zygomycetes ไฟลัม Zygomycota จะสร้างเส้นใยที่ไม่มีผนังกั้น และสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่าสปอร์แรงจิโอสปอร์ (sporangiospore) ในสปอร์แรงเจียมและสร้างสปอร์ที่มีผนังหนาเรียกว่าไซโกสปอร์ (zygospore) จากการผสมพันธุ์ระหว่างสองเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) โดยเชื้อราในกลุ่มนี้จะเป็นเชื้อราที่เจริญบนบกเท่านั้น สามารถแพร่กระจายได้ดีโดยการปลิวไปกับลม (Agrios, 2005; Jin-Hyeuk *et al*., 2010; Walther *et al*., 2020)

เชื้อราในกลุ่มนี้ เช่น *Rhizopus* และ *Choanephora* สามารถเข้าทำลายช่อดอกและผลของผลไม้หลายชนิด รวมทั้งก่อให้เกิดโรคเน่าเละในผัก ไม้ดอก นอกจากนี้เชื้อที่อยู่ในกลุ่มนี้จัดเป็นเชื้อฉวยโอกาสที่เข้าทำลายซ้ำเติมหลังจากเชื้อราสาเหตุโรคหลักเข้าทำลายก่อนแล้ว ส่วนใหญ่เชื้อราในกลุ่มนี้จะใช้ชีวิตในเศษซากพืชที่ตายแล้วหรือผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวโดยจะเข้าทำลายทางบาดแผลหรือบริเวณที่เชื้อชนิดอื่นเข้าทำลายอยู่ก่อนแล้ว เมื่อเข้าทำลายพืชเชื้อราจะสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยผนังเซลล์พืชทำให้เกิดอาการเน่าและสร้างเส้นใยจำนวนมากมีลักษณะฟูสีขาวอมเทาสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าในบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย (Agrios, 2005; Jin-Hyeuk *et al*., 2010; Kwon *et al*., 2010; Kaur, 2020; Tronsmo *et al*., 2020; Walther *et al*., 2020)

2.4.1 โรคเน่าเละของผัก ผลไม้ที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizopus* (Fruit and Vegetable Rot Caused by *Rhizopus*)

โรคเน่าเละของผักและผลไม้เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Rhizopus stolonifer* สามารถพบการเข้าทำลายได้ทั่วไปทั้งในแปลงปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวของพืชผัก ไม้ดอก ผลไม้ โดยเฉพาะในช่วงเก็บเกี่ยว ขนส่งและวางตลาด ส่วนใหญ่พบในมันฝรั่ง หวาน สตรอเบอร์รี่ องุ่น แตง เชอรี่ ถั่วและพืชอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบในข้าวโพดและธัญพืช

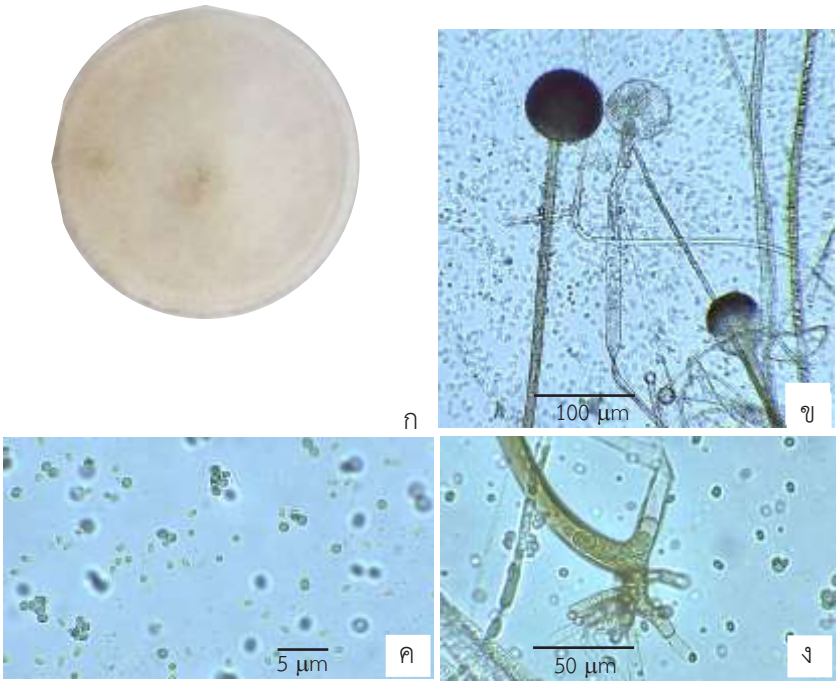
ถ้าเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีความชื้น รวมทั้งพบการเข้าทำลายในหัวและไรโซมของไม้ดอก โดยเฉพาะในพันธุ์อ่อนแอ (Kwon *et al*., 2010; Kaur, 2020; Tronsmo *et al*., 2020; Walther *et al*., 2020) เชื้อรา *R. stolonifer* มีลำดับขั้นทางอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Zygomycota
ชั้น Zygomycetes
อันดับ Mucorales
วงศ์ Mucoraceae
สกุล *Rhizopus*
ชนิด *stolonifer*

อาการ

บริเวณที่เชื้อราเข้าทำลายส่วนใหญ่จะเป็นส่วนที่สดอวบน้ำซึ่งหลังจากที่เชื้อเข้าทำลาย เนื้อเยื่อพืชจะนุ่ม ยุบตัวลง ผิวพืชจะขาดความชื้นลงตามลำดับจนเหี่ยวย่น เส้นใยเชื้อราจะเจริญบนแผลจะเห็นกลุ่มเส้นใยฟูมีสีขาวอมเทาของก้านชูสปอร์แรงเจียมเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 2.5ก) นอกจากนี้เส้นใยสามารถเจริญอย่างรวดเร็วแพร่ไปบนพื้นที่ใกล้เคียงของพืชรวมทั้งพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่ใส่ ถ้ามีความชื้นมากจะพบหยดน้ำบนเส้นใยมีกลิ่นเล็กน้อย (Agrios, 2005; Kwon *et al*., 2010; Kaur, 2020; Tronsmo *et al*., 2020)

ต่อมาเชื้อแบคทีเรียและยีสต์จะเข้าทำลายซ้ำทำให้มีกลิ่นเหม็น เมื่อมีการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วส่วนของพืชที่เชื้อราเข้าทำลายจะแห้งกลายเป็นมัมมี่สีน้ำตาลดำ ถ้าสูญเสียความชื้นอย่างช้าๆ ผลจะแตก เน่าเละ เชื้อราสร้างเส้นใยยาวแตกกิ่งก้านสร้างก้านชูสปอร์แรงเจียมที่ปลายจะมีการสร้างสปอร์แรงเจียมรูปร่างกลมสีดำ ภายในสปอร์แรงเจียมจะเป็นที่ที่ผลิตสปอร์แรงจิโอสปอร์รูปร่างเกือบกลมสีน้ำตาลดำจำนวนมาก (ภาพที่ 2.5ข-ค) เส้นใยจะเจริญบนสโตลอน (stolon) ซึ่งมีลักษณะสร้างคล้ายรากที่ทอดยาวไปตามผิวพืช โดยจะมีข้อที่สามารถแตกโครงสร้างคล้ายรากเป็นจุดๆ เรียกว่าไรซอยด์ (rhizoid) (ภาพที่ 2.5ง) (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Walther *et al*., 2020)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโคโลนีและสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Rhizopus stolonifer* KUFA 0015 สาเหตุโรคผลเน่าขององุ่น

ก. ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *R. stolonifer* KUFA 0015 บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มที่ 28±2 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน

ข. ก้านชูสปอร์แรงเจียมและสปอร์แรงจิโอสปอร์ของเชื้อรา *R. stolonifer* KUFA 0015

ค. สปอร์แรงจิโอสปอร์ของเชื้อรา *R. stolonifer* KUFA 0015

ง. ไรซอยด์และสปอร์แรงจิโอสปอร์ของเชื้อรา *R. stolonifer* KUFA 0015

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ในการสืบพันธุ์แบบใช้เพศเส้นใยของเชื้อราจะสร้างเส้นใยสั้นๆ เรียกว่า โพรแกมมีแทงเจียม (progametangium) ที่ปลายของเส้นใยนี้เรียกว่าแกมมีแทงเจียม (gametangium) จะผสมกับอีกแกมมีแทงเจียมจากอีกเส้นใยหนึ่งเพื่อจับคู่ผสมพันธุ์ เมื่อผสมพันธุ์แล้วเซลล์นี้จะขยายใหญ่เกิดการผสานเซลล์ มีการพัฒนาให้มีผนังหนา สีดำ ผนังขรุขระไม่เรียบซึ่งจะพัฒนาเป็นไซโกสปอร์ที่สามารถอยู่ข้ามฤดูหรือพักตัวในสภาพอากาศที่

ไม่เหมาะสม เมื่อไซโกสปอร์งอกออกมาจะสามารถสร้างก้านชูสปอร์แรงเจียม โดยภายในสปอร์แรงเจียมจะมีสปอร์แรงจิโอสปอร์จำนวนมากซึ่งสามารถปลิวแพร่กระจายไปได้ตลอดปี (Agrios, 2005; Kaur, 2020; Tronsmo *et al*., 2020; Walther *et al*., 2020)

การพัฒนาของโรค

เมื่อสปอร์แรงจิโอสปอร์งอกจะสร้างเส้นใยและเอนไซม์ออกมาย่อยส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ส่งผลให้ผนังเซลล์พืชยุบตัวลงเกิดอาการเน่าเละ เส้นใยจะเจริญได้ทั้งบริเวณที่เข้าทำลายและเข้าไปในเซลล์พืชรวมทั้งใช้ชีวิตในเศษซากพืช เมื่อเข้าทำลายเข้าไปด้านในเซลล์พืชจะส่งผลทำให้เซลล์อิพิเดอร์มิสแตก เส้นใยจะเจริญจากแผลเข้าไปในเซลล์ดูดซึมสารอาหารและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สร้างโครงสร้างของเชื้อทั้งก้านชูสปอร์แรงเจียม สปอร์แรงเจียม สโตลอน และไรซอยด์ สามารถเห็นเป็นกลุ่มเส้นใยฟูสีขาวอมเทาบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย (Agrios, 2005; Kwon *et al*., 2010; Tronsmo *et al*., 2020; Walther *et al*., 2020) เส้นใยจะสามารถเข้าทำลายผลสดได้ทั้งผลอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมเชื้อจะเจริญช้าลง ในบางพืชเชื้อจะเจริญเข้าไปจนถึงเซลล์คอร์ก (cork) ซึ่งเป็นเซลล์พืชที่ตายแล้วจะหยุดยั้งไม่ให้เชื้อเจริญต่อได้ เมื่อเข้าทำลายได้ระยะหนึ่งหรือสารอาหารเริ่มหมดจะเริ่มมีการสร้างไซโกสปอร์ ซึ่งไซโกสปอร์นี้จะช่วยให้เชื้ออยู่ข้ามฤดูในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เหมาะสม (Agrios, 2005; Kwon *et al*., 2010; Kaur, 2020; Tronsmo e*t al*., 2020; Walther *et al*., 2020)

การควบคุม

ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ผลไม้ ผักมีบาดแผลระหว่างการเก็บเกี่ยว จัดเก็บหรือขนส่ง เก็บส่วนที่มีแผลออกจากส่วนที่สมบูรณ์ ทำความสะอาดบรรจุภัณฑ์หรือโรงเก็บให้สะอาดด้วยสารประกอบกลุ่มคอปเปอร์ สารรมควัน หรือสารคลอโรพิริน (chloropicrin) รวมทั้งควบคุมอุณหภูมิในโรงเก็บ ควรเก็บผลไม้ที่ฉ่ำน้ำ เช่น สตรอเบอร์รี่และองุ่น ในอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เก็บมันฝรั่งหวานหรือพืชอื่นที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้น 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (Agrios, 2005; Ray and Ravi, 2005; Kaur, 2020; Tronsmo *et al*., 2020)

2.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Cercozoa, Oomycota และ Zygomycota โดยเชื้อราในชั้น Phytomyxea ไฟลัม Cercozoa เป็นเชื้อที่เจริญและเข้าทำลายพืชที่มีชีวิตเท่านั้น จัดเป็นเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต แต่สามารถอยู่รอดในดินในรูปแบบสปอร์ที่ใช้พักตัวเป็นเวลาหลายปี จากนั้นสามารถเจริญและเข้าทำลายพืชได้เมื่อมีพืชอาศัยเจริญอยู่ใกล้เคียงและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เชื้อราจะสร้างโครงสร้างที่เรียกว่าพลาสโมเดียม เข้าทำลายพืชและเจริญในเซลล์พืชอาศัย เชื้อสาเหตุโรคบางชนิดในกลุ่มนี้เมื่อเข้าทำลายพืชจะส่งผลให้พืชแบ่งเซลล์และขยายใหญ่ผิดปกติเพื่อให้พืชส่งน้ำและสารอาหารมาบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย นอกจากนี้เชื้อราในกลุ่มนี้สามารถแพร่กระจายโดยการสร้างซูโอสปอร์ที่สามารถว่ายน้ำได้และเคลื่อนที่ในดินชื้นแฉะหรือน้ำได้ โรคที่สำคัญ เช่น โรครากบวมของพืชตระกูลกะหล่ำ ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Plasmodiophora brassicae*

เชื้อราในไฟลัม Oomycota นับเป็นกลุ่มเชื้อที่ก่อโรคที่มีความสำคัญกับพืชเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเชื้อรา *Phytophthora* ซึ่งเข้าทำลายต้นทุเรียนก่อให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่า โดยเชื้อราในไฟลัม Oomycota เป็นเชื้อราที่สร้างเส้นใยที่มีเซลลูโลสและกลูแคนเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ มีการสร้างโอโอสปอร์จากการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ สร้างสปอร์ในระยะพักตัวและสร้างสปอร์จากการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศเป็นซูโอสปอร์ภายในสปอร์แรงเจียม ซึ่งเชื้อราในกลุ่มนี้ที่เป็นสาเหตุโรคพืชที่สำคัญในประเทศไทยอยู่ในชั้น Oomycetes จะมีเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญได้แก่ *Pythium* และ *Phytophthora* ซึ่งเชื้อรา *Pythium* ก่อให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่า เมล็ดเน่า ต้นกล้าเน่าของพืชผัก ส่วน *Phytophthora* เป็นสาเหตุโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง รากเน่าโคนเน่า ผลเน่าและใบไหม้ของพืชหลายชนิด เช่น ทุเรียน ส้ม อะโวกาโด และเชื้อราในชั้น Peronosporomycetes ก่อให้เกิดโรคราน้ำค้างซึ่งเชื้อสามารถเข้าทำลายทุกส่วนเหนือดิน โดยเฉพาะที่ใบพบเป็นจุดเหลี่ยมขนาดเล็กสีเหลืองอ่อนบนผิวใบและพบกลุ่มก้านชูสปอร์แรงเจียมสีขาวเป็นปื้นด้านใต้ใบ การควบคุมโรคสามารถใช้วิธีการเขตกรรม ปลูกพันธุ์

ต้านทาน ปรับพื้นที่ไม่ให้มีน้ำขัง ฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชและใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่โคนต้นและดิน

เชื้อราในชั้น Zygomycetes ไฟลัม Zygomycota จะสร้างเส้นใยที่ไม่มีผนังกั้นและสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่าสปอร์แรงจิโอสปอร์ในสปอร์แรงเจียมและสร้างสปอร์ที่มีผนังหนาเรียกว่าไซโกสปอร์จากการผสมกันระหว่างสองเซลล์สืบพันธุ์ โดยเชื้อราในกลุ่มนี้จะเจริญบนบกเท่านั้นสามารถแพร่กระจายได้ดีโดยการปลิวไปกับลม เชื้อราในกลุ่มนี้ เช่น *Rhizopus stolonifer* เป็นสาเหตุโรคเน่าเละของผักและผลไม้ สามารถพบการเข้าทำลายได้ทั่วไปทั้งในแปลงปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวของพืชผัก ไม้ดอก ผลไม้ โดยเฉพาะในช่วงเก็บ ขนส่งและวางตลาดการควบคุมโรคควรป้องกันการเกิดบาดแผลในผัก ผลไม้ระหว่างการเก็บเกี่ยว และรักษาอุณหภูมิระหว่างเก็บและขนส่ง

2.6 เอกสารอ้างอิง

รัติยา พงศ์พิสุทธา. 2566. เชื้อราอุบัติใหม่ในไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญ. เพชรเกษมการพิมพ์, จังหวัดนครปฐม. 285 หน้า.

Agrios, G. 2005. Plant pathology. 5th ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922 p.

Arora, H., Sharma, A., Sharma, S., Haron, F.F., Gafur, A., Sayyed, R.Z. and Datta, R. 2021. Pythium damping-off and root rot of *Capsicum annuum* L.: impacts, diagnosis, and management. Microorganisms 9: 823.

Bassani, I., Larousse, M., Tran, Q.D., Attard, A. and Galiana, E. 2020. *Phytophthora* zoospores: from perception of environmental signals to inoculum formation on the host-root surface. Computational and Structural Biotechnology Journal 18: 3766–3773.

Baysal-Gurel, F., Liyanapathiranage, P. and Mullican, J. 2018. Biofumigation: opportunities and challenges for control of soilborne diseases in nursery production. Plant Health Progress 19(4): 332–337.

Beacham, A.M., James, K.L., Randall, N.P. and Monaghan, J.M. 2023. Challenges and recommendations for the development of cultural control of aerial oomycete-

associated diseases in protected horticulture. European Journal of Plant Pathology 167: 207–219.

Bose, T., Spies, C.F.J., Hammerbacher, A. and Coutinho, T.A. 2023. *Phytophthora*: an underestimated threat to agriculture, forestry, and natural ecosystems in sub-Saharan Africa. Mycological Progress 22: 78.

Burchett, S. and Burchett, S. 2018. Plant Pathology. New York : Garland Science, Taylor & Francis Group. 144 p.

Capriotti, L., Baraldi, E., Mezzetti, B., Limera, C. and Sabbadini, S. 2020. Biotechnological approaches: gene overexpression, gene silencing, and genome editing to control fungal and Oomycete diseases in grapevine. Journal of Molecular Sciences 21: 5701.

Chen, S., Daly, P., Zhou, D., Li, J., Wang, X., Deng, S., Feng, H., Wang, C., Majid, T., Sheikh, M., Chen, Y., Xue, T., Cai, F., Kubicek, C.P., Wei, L. and Druzhinina, I.S. 2022. The use of mutant and engineered microbial agents for biological control of plant diseases caused by *Pythium*: achievements versus challenges. Fungal Biology Reviews 40: 76–90.

Clippinger, J.I., Dobry, E.P., Laffan, I., Zorbas, N., Hed, B. and Campbell, M.A. 2024. Traditional and emerging approaches for disease management of *Plasmopara viticola*, causal agent of downy mildew of grape. Agriculture 14: 406.

de Medeiros, E.V., Lima, N.T., de Sousa Lima, J.R., Silva Pinto, K.M., da Costa, D.P., Franco Junior, C.L., Silva Souza, R.M. and Hammecker, C. 2021. Biochar as a strategy to manage plant diseases caused by pathogens inhabiting the soil: a critical review. Phytoparasitica 49: 713–726.

Dixon, G.R. 2009. *Plasmodiophora brassicae* in its environment. Journal of Plant Growth Regulation 28: 212–228.

Dong, S.-M. and Zhou, S.-Q. 2022. Potato late blight caused by *Phytophthora infestans*: from molecular interactions to integrated management strategies. Journal of Integrative Agriculture 21(12): 3456–3466.

Fei, W. and Liu, Y. 2023. Biotrophic fungal pathogens: a critical overview. Applied Biochemistry and Biotechnology 195: 1–16.

Giachero, M.L., Declerck, S. and Marquez, N. 2022. Phytophthora root rot: importance of the disease, current and novel methods of control. Agronomy 12: 610.

Govers, F. 2024. Diseases caused by Oomycetes. In Oliver, R. (Ed.), Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 439–462.

Hasan, J., Megha, S. and Rahman, H. 2021. Clubroot in *Brassica*: recent advances in genomics, breeding, and disease management. Genome 64(8): 735–760.

Jin-Hyeuk, K., Kim, J.-H., Lee, Y.-H. and Shim, H.-S. 2010. Soft rot on *Cucumis melo* var. *makuwa* caused by *Rhizopus oryzae*. Mycobiology 38: 336–338.

Kaur, P. 2020. Visualisation of research trends in Rhizopus rot: A review. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology 21(61-62): 63–71

Kwon, J.-H., Kim, J.-H., Lee, Y.-H. and Shim, H.-S. 2010. Soft rot on *Cucumis melo* var. *makuwa* caused by *Rhizopus oryzae*. Mycobiology 38: 336–338.

Liu, L., Qin, L., Zhou, Z., Hendriks, W.G.H.M., Liu, S. and Wei, Y. 2020. Refining the life cycle of *Plasmodiophora brassicae*. Phytopathology 110: 10.

Ndala, R.I., Ndakidemi, P.A. and Mbega, E.R. 2019. Status and management options of *Phytophthora infestans*, a causal agent of the late blight disease of tomato, in tropical Africa. Journal of Animal and Plant Sciences 29(4): 1017–1025.

Oliver, R.P. 2024. Diseases caused by *Plasmodiophorida*. In: Oliver, R. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 429–433.

Pedneault, K. and Provost, C. 2016. Fungus resistant grape varieties as a suitable alternative for organic wine production: Benefits, limits, and challenges. Scientia Horticulturae 208: 57-77.

Pérez-López, E., Waldner, M., Hossain, M., Kusalik, A.J. Wei, Y., Bonham-Smith, P.C. and Todd, C.D. 2018. Identification of *Plasmodiophora brassicae* effectors — A challenging goal. Virulence 9(1): 1344–1353.

Phetkhajone, S., Siriwattanakul, U., Putaporntip, N. Pichakum, A. and Songnuan, W. 2024. Bioassay for validation of metalaxyl persistence to control *Phytophthora palmivora* infection in durian. Tropical Plant Pathology 49: 209–217.

Ramusi, T.M., van der Waals, J.E., Labuschagne, N. and Aveling, T.A.S. 2017. mefenoxam and fludioxonil for control of *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* and *Fusarium solani* on cowpea. South African Journal of Plant and Soil 34: 1–7.

Ray, R.C. and Ravi, V. 2005. Post harvest spoilage of sweet potato in Tropics and control measures. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 45(7-8): 623–644.

Ray, R.V. 2024. Effects of pathogens and disease on plant physiology. In: Oliver, R. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 63–91.

Sanogo, S., Lamour, K., Kousik, C.S., Lozada, D.N., Parada-Rojas, C.H., Quesada-Ocampo, L.M., Wyenandt, C.A., Babadoost, M., Hausbeck, M.K., Hansen, Z., Ali, E., McGrath, M.T., Hu, J., Crosby, K. and Miller, S.A. 2023. *Phytophthora capsici*, 100 years later: research mile markers from 1922 to 2022. Phytopathology 113(6): 921–930.

Sichai, K., Nianwichai, P., Taraput, N., Tongsri, V. and Songkumarn, P. 2024. *Phytophthora palmivora* RPA1, a homolog of *Phytophthora infestans* RPA190, is irrelevant to metalaxyl resistance in *Phytophthora palmivora* causing root and stem rot of durian in Thailand. Korean Journal of Mycology 52(2): 73–96.

Singh, R.S. 2017. Introduction to Principles of Plant Pathology. CBS Publishers & Distributors, 416 p.

Somnuek, S., Kongtragoul, P. and Jaenaksorn, T. 2023. Fungicide resistance of *Phytophthora palmivora* causing durian diseases in eastern and southern Thailand and the *in vitro* alternative control by cajeput leaf extracts. International Journal of Agricultural Technology 19(2): 703–720.

Toffolatti, S.L., Lecchi, B. and Maddalena, G. 2024. The management of grapevine downy mildew: from anti-resistance strategies to innovative approaches for fungicide resistance monitoring. Journal of Plant Diseases and Protection 131: 1225–1232.

Tongsri, V., Nianwichai, P., Sichai, K., Suttiviriya, P. and Kongtragoul, P. 2023. Sensitivity tests of dimethomorph, ethaboxam and etridiazole on *Phytophthora palmivora*

causing stem rot and leaf blight of durian in eastern Thailand. Agriculture and Natural Resources 57(4): 559–568.

Tronsmo, A.M., Collinge, D.B., Djurle, A., Munk, L., Yuen, J. and Tronsmo, A. 2020. Plant Pathology and Plant Diseases. CABI. 461 p.

Velasquez-Camacho, L., Otero, M., Basile, B., Pijuan, J. and Corrado, G. 2023. Current trends and perspectives on predictive models for mildew diseases in vineyards. Microorganisms 11: 73.

Volynchikova, E. and Kim, K.D. 2022. Biological control of Oomycete soilborne diseases caused by *Phytophthora capsici*, *Phytophthora infestans*, and *Phytophthora nicotianae* in Solanaceous Crops. Mycobiology 50(5): 269–293.

Walther, G., Wagner, L. and Kurzai, O. 2020. Outbreaks of Mucorales and the species involved. Mycopathologia 185: 765–781.

Wang, W. and Long, Y. 2023. A review of biocontrol agents in controlling late blight of potatoes and tomatoes caused by *Phytophthora infestans* and the underlying mechanisms. Pest Management Science 79(12): 4715–4725.

Xu, X., Wu, C., Zhang, F., Yao, J., Fan, L., Liu, Z. and Yao, Y. 2025. Comprehensive review of *Plasmodiophora brassicae*: pathogenesis, pathotype diversity, and integrated control methods. Frontiers in Microbiology 16: 1531393.

บทที่ 3
โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Ascomycota
(Plant Disease Caused by Fungi in Phylum Ascomycota)

เชื้อราในไฟลัม Ascomycota จะมีการสร้างสปอร์แบบสืบพันธุ์แบบใช้เพศที่เรียกว่าแอสโคสปอร์ (ascospore) ภายในถุงที่เรียกว่าแอสคัส (ascus) เพื่อแพร่กระจายและอยู่ข้ามฤดู รวมทั้งสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศที่เรียกว่าสปอร์หรือโคนิเดียม (conidium) จากทั้งก้านชูสปอร์หรือในโครงสร้างที่สร้างสปอร์เรียกว่า fruiting body แบบต่างๆ (Agrios, 2005; Frost, 2019; Oliver, 2024) อย่างไรก็ตามมีข้อสันณิฐานว่าเชื้อราในไฟลัมนี้แต่เดิมมีการสร้างสปอร์แบบสืบพันธุ์แบบใช้เพศและไม่ใช้เพศ แต่เมื่อสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสม เช่น อากาศอบอุ่นไม่หนาว เชื้อราบางชนิดจึงสร้างแต่สปอร์แบบไม่ใช้เพศ จึงจัดเชื้อราเหล่านี้ในกลุ่ม Fungi Imperfecti หรือเดิมอยู่ในชั้น Deuteromycetes แต่ถ้าพบการสร้างสปอร์แบบสืบพันธุ์แบบใช้เพศจะถูกจัดให้อยู่ในไฟลัม Ascomycota (Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) เชื้อราในไฟลัมนี้สามารถเข้าทำลายพืชหลายชนิดก่อให้เกิดโรคทั้งโรคใบจุด ใบไหม้ แคงเกอร์ ผลจุด ผลเน่า แอนแทรคโนส ลำต้นเน่า รากเน่า เหี่ยว เป็นต้น (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)

ในการสืบพันธุ์แบบใช้เพศจะสร้างแอสโคสปอร์ในถุงที่เรียกว่าแอสคัสเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างเซลล์เพศเมียที่เรียกว่าแอสโคโกเนียม และเซลล์เพศผู้ที่เรียกว่าแอนเทอริเดียมหรือเซลล์เพศผู้ขนาดเล็กเรียกว่าสเปอมาเทียม (spermatium) ซึ่งแอสโคโกเนียมที่ผสมแล้วจะพัฒนาเป็นเส้นใยที่เรียกว่าเส้นใยแอสโคจีนัส (ascogenous hyphae) จำนวนมากซึ่งแต่เซลล์จะมี 2 นิวเคลียสที่มาจากเพศผู้และเพศเมีย (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Frost, 2019) ที่ปลายเซลล์ของแต่ละเส้นใยแอสโคจีนัส จะพัฒนาเป็นถุงแอสคัสต่อมานิวเคลียสจะรวมกันเป็นไซโกต (zygote) จากนั้นจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ผลิตเป็น 4 แฮพลอยด์ นิวเคลียส (haploid nucleus) เซลล์จะขยายออกและต่อมาทั้ง 4 แฮพลอยด์ นิวเคลียส จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) เป็น 8 แฮพลอยด์ นิวเคลียส แต่ละนิวเคลียสจะถูกล้อมรอบด้วยส่วนไซโตพลาสซึม (cytopasm)

พัฒนาเป็นผนังของแต่ละแอสโคสปอร์ ภายในแอสคัสซึ่งส่วนใหญ่จะมี 8 แอสโคสปอร์ต่อแอสคัส (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) ในอดีตการจัดจำแนกเชื้อราในไฟลัมนี้จะมีการตั้งชื่อสำหรับเชื้อราที่มีการสร้างสปอร์ในการสืบพันธุ์แบบใช้เพศหนึ่งชื่อและไม่ใช้เพศอีกหนึ่งชื่อ เช่น *Colletotrichum* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสเป็นชื่อสกุลในระยะการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ ในขณะที่ชื่อ *Glomerella* เป็นชื่อสกุลในระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ จึงมีชื่อเชื้อราจำนวนมากซึ่งปัจจุบันมีรายงานเชื้อรามากกว่า 150,000 ชนิด ดังนั้นในการประชุม 18th International Mycological Congress จัดขึ้นที่เมืองเมลเบิร์น (Melbourne) ประเทศออสเตรเลีย ในปี ค.ศ. 2011 ได้มีข้อตกลงในการใช้ one fugnus one name เพื่อป้องกันการสับสนที่เชื้อรามีหลายชื่อ และมีการปรับปรุงการใช้ชื่อให้เป็นไปตาม International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) ซึ่งจะมีการปรับปรุงทุก 6 ปี (Turland *et al*., 2018) ซึ่งจะช่วยลดความซับซ้อนของชื่อเชื้อรา ทั้งนี้สามารถตรวจสอบชื่อเชื้อราที่ยอมรับใช้ในปัจจุบันได้ที่เว็ปไซด์ของ Index Fungorum (http://indexfungorum.org/Index.html) และ MycoBank (https://www.mycobank.org/) (Wang *et al*., 2023)

เชื้อราสาเหตุโรคพืชทุกชนิดที่อยู่ในไฟลัม Ascomycota ในระหว่างการเจริญและเข้าทำลายพืชจะสร้างแต่การสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ เช่น โคนิเดียหรือสปอร์ และสร้างการสืบพันธุ์แบบใช้เพศในช่วงระยะหลังเข้าทำลายพืชบนผล ใบหรือลำต้นเมื่ออาหารใกล้หมดเพื่อใช้อยู่ข้ามฤดูและเข้าทำลายพืชชุดแรกในต้นฤดูปลูก แต่ในหลายกรณีเชื้อสามารถอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเส้นใยหรือโคนิเดียได้ (Agrios, 2005; Frost, 2019; Oliver, 2024) เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมแอสโคสปอร์จะถูกปล่อยออกมาและเข้าทำลายพืชในช่วงต้นฤดูปลูก เจริญเป็นเส้นใยเข้าทำลายพืชและสร้างโคนิเดียเข้าทำลายพืชต่อมาในระหว่างการเจริญของพืช (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)

ในเชื้อราบางชนิดในไฟลัม Ascomycota เช่น ยีสต์และเชื้อราสาหตุโรคใบม้วนงอ เชื้อราจะสร้างแอสคัสแบบไม่มีโครงสร้างห่อหุ้มบนผิวพืช แต่เชื้อราส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้จะสร้างแอสคัส เดี่ยวๆ หรือหลายแอสคัสภายในโครงสร้างที่เรียกว่าแอสโคคาร์ป (ascocarp) ที่มีลักษณะและรูปร่างที่แตกต่างกัน ในเชื้อราสาเหตุโรคราแป้งจะสร้างโครงสร้างแอสโคคาร์ปห่อหุ้มที่ปิดสนิท รูปร่างกลมเรียกว่าคริสโตทีเซียม (cleistothecium) เมื่อเจริญต็มที่

คริสโตทีเซียมจะแตกและปล่อยแอสโคสปอร์ออกมา (Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) ขณะที่ในเชื้อราชั้น Pyrenomycetes ในไฟลัมนี้จะสร้างโครงสร้างห่อหุ้มที่เกือบปิดสนิท รูปร่างคล้ายลูกแพร์ แต่จะเปิดออกเมื่อแก่เพื่อปล่อยแอสโคสปอร์เรียกว่าเพอริทีเซียม (perithecium) ในเชื้อราชั้น Loculoascomycetes (ascostromatic ascomycetes) จะสร้างแอสคัสในช่องว่างในสโตรมา (stroma) ที่เกิดจากการอัดรวมตัวของเส้นใยเรียกว่าซูโดทีเซียม (pseudothecium) หรือแอสโคสโตรมา (ascostroma) ขณะที่เชื้อราในชั้น Discomycetes จะสร้างแอสคัสในโครงสร้างรูปร่างถ้วยหรือไส้กรอกที่เรียกว่าอะโพทีเซียม (apothecium) (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)

เชื้อราในไฟลัม Ascomycota สามารถจัดจำแนกได้เบื้องต้นจากลักษณะสัณฐานวิทยาของแอสโคคาร์ป รวมทั้งแอสคัสและแอสโคสปอร์ที่เชื้อราสร้างขึ้น ขณะที่เชื้อราในกลุ่ม Fungi imperfecti สามารถจัดจำแนกได้โดยลักษณะของสปอร์และรูปร่างของก้านชูสปอร์ (conidiophore) รูปแบบการสร้างของก้านชูสปอร์และวิธีการเกิดสปอร์บนก้านชูสปอร์ได้เช่นกัน (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) โดยสปอร์อาจเกิดเดี่ยวๆ หรือเกิดเป็นแบบโซ่ต่อกันที่ปลายของก้านชูสปอร์ บางชนิดจะสร้างก้านชูสปอร์รวมกันเป็นกลุ่มบนก้อนเส้นใยที่อัดรวมตัวกันรูปร่างกลมนูนเรียกว่า สปอโรโดเชียม (sporodochium) บางชนิดก้านชูสปอร์มีลักษณะเป็นก้านยาวเรียกว่าสินนีมา (synnema) บางชนิดสร้างก้านชูสปอร์ภายในโครงสร้างรูปร่างคล้ายแจกันหรือกลมเรียกว่าพิกนิเดียม (pycnidium) หรือผลิตโคนิเดียในโครงสร้างคล้ายไส้กรอกหรือหมอนเรียกว่าอะเซอวูรัส (acervulus) บนผิวพืชอาศัย (ภาพที่ 3.1) (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Frost, 2019; Oliver, 2024) โรคพืชที่สำคัญที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Ascomycota มีดังนี้

3.1 โรคราแป้ง (Powdery Mildew)

โรคราแป้งจัดเป็นโรคพืชที่พบได้ทั่วไป แพร่กระจายได้ง่าย สามารถเข้าทำลายพืชได้หลายชนิดยกเว้นพวกพืชเมล็ดเปลือย (Gymnosperm) โดยเริ่มแรกจะพบอาการเป็นจุดหรือกลุ่มของเส้นใยสีขาวหรือสีเทาอ่อน ลักษณะคล้ายผงแป้งบนใบพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืช (Agrios, 2005; Frost, 2019; Oliver, 2024) ต่อมาจะพบการแพร่กระจายของเชื้อรา

ปกคลุมไปยังส่วนต่างๆ ที่ยอดอ่อน ลำต้น ตา ดอก ผลอ่อน และช่อดอก เชื้อราสร้างโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสปอร์ในการสืบพันธุ์แบบใช้เพศเพื่ออยู่ข้ามฤดูที่เรียกว่าคริสโตทีเซียม มีขนาดเล็ก รูปร่างกลม ภายในเป็นที่เกิดของแอสโคสปอร์ภายในมีถุงแอสคัส ตอนแรกมีสีขาวต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลและเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อแก่ อาจเกิดเดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่มในบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)



ภาพที่ 3.1 รูปแบบของสปอร์ ก้านชูสปอร์และโครงสร้างที่สร้างโดยเชื้อราในไฟลัม Ascomycota และกลุ่ม Fungi Imperfecti
ที่มา: Oliver (2024)

เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งจัดเป็นเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต โดยจะดำรงชีวิตในพืชที่มีชีวิตเท่านั้นและไม่สามารถเจริญได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อราสร้างเส้นใยเจริญบนผิวใบไม่สามารถเข้าทำลายเซลล์พืชด้านในได้แต่สามารถดูดซึมสารอาหารจากพืชได้โดยการสร้างฮอสโตเรียม เจาะเข้าไปในเซลล์อิพิเดอร์มิสของพืชเพื่อ

ดูดซึมสารอาหาร (Kumar and Chandel, 2018; Frost, 2019) เชื้อราจะสร้างสปอร์ในระยะการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่าสปอร์หรือโคนิเดียจากก้านชูสปอร์สั้นๆ บนผิวพืช เชื้อสามารถสร้างสปอร์หลายแบบได้แก่ รูปร่างหลายเหลี่ยม รูปไข่และกลมขึ้นกับชนิดของเชื้อรา แพร่กระจายได้ง่ายโดยลม (Bao *et al*., 2022)

เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งนี้จะระบาดรุนแรงก่อให้เกิดความเสียหายให้กับผลผลิตในพื้นที่ที่มีอากาศเย็น มีความชื้นสูง โดยสปอร์สามารถปลิวและเข้าทำลายพืชได้บนผิวพืชที่มีฟิล์มน้ำบนผิวพืช เมื่อเข้าทำลายเชื้อจะสร้างเส้นใยแพร่กระจายบนผิวใบ สร้างฮอสโตเรียมดูดซึมสารอาหาร เนื่องจากมีการดูดสารอาหารจากเซลล์พืช ส่งผลให้พืชลดการสังเคราะห์แสง เพิ่มการหายใจและมีการสูญเสียน้ำ (Kumar and Chandel, 2018; Kunova *et al*., 2021) ส่งผลลดการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงได้มากถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งเข้าทำลายพืชได้หลายชนิดโดยเฉพาะธัญพืช เช่น ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ นอกจากนี้ยังเข้าทำลายพืชตระกูลแตง เช่น แตงกวา แคนตาลูป รวมทั้งพืชชนิดอื่น เช่น สตรอเบอร์รี่ หัวน้ำตาล รวมทั้งไม้ดอกไม้ประดับ เช่น กุหลาบ และไม้ผล เช่น แอปเปิล เงาะ มะม่วง (Agrios, 2005; Nasir *et al*., 2014; Frost, 2019; Palei *et al*., 2023; Oliver, 2024)

การควบคุมโรคราแป้งในไม้ผล ส่วนใหญ่จะฉีดพ่นผงหรือสารละลายซัลเฟอร์ ในการควบคุมโรคราแป้งในธัญพืชและไม้ยืนต้นจะเน้นใช้พันธุ์ต้านทานพร้อมฉีดพ่นหรือคลุกเมล็ดด้วยสารเคมีชนิดดูดซึม (Kumar and Chandel, 2018; Kunova *et al*., 2021) ในการควบคุมโรคราแป้งในไม้ผล เช่น แอปเปิล จะฉีดพ่นสารเคมีในกลุ่มยับยั้งการสร้างสเตอรอล (sterol) ในการควบคุมโรคราแป้งในโรงเรือนอาจฉีดพ่นสารละลายเกลือฟอสเฟต คลุมด้วยแผ่นโพลีเอทิลีน (polyethylene) สีฟ้า เป็นต้น หรือฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์เชื้อรา *Ampelomyces quisqualis* ซึ่งจะสามารถกระตุ้นความต้านทานในพืชได้ เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งที่สำคัญมีหลายชนิดจัดอยู่ในวงศ์ Erysiphaceae ซึ่งเชื้อราจะสร้างหนึ่งหรือหลายแอสคัสต่อคริสโตทีเซียมและคริสโตทีเซียมจะมีระยางค์ที่ผนังภายนอกของคริสโตทีเซียมที่แตกต่างกันขึ้นกับแต่ละชนิด (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) โรคราแป้งที่สำคัญ ได้แก่

3.1.1 โรคราแป้งขาวของพืชตระกูลแตง (Powdery Mildew of Cucurbit)

โรคราแป้งนับเป็นโรคที่สำคัญของพืชตระกูลแตง ได้แก่ แตงกวา แตงร้าน แตงโม แตงไทย เมล่อน แคนตาลูป ฟักเขียว ฟักแม้ว มะระจีน และบวบ สามารถพบการเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ส่งผลให้มีผลผลิตน้อย ต้นอ่อนแอเจริญเติบโตช้า โดยเชื้อราจะเข้าทำลายใบ ตาอ่อน ยอดอ่อน เชื้อราสาเหตุโรคคือ *Podosphaera xanthii* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

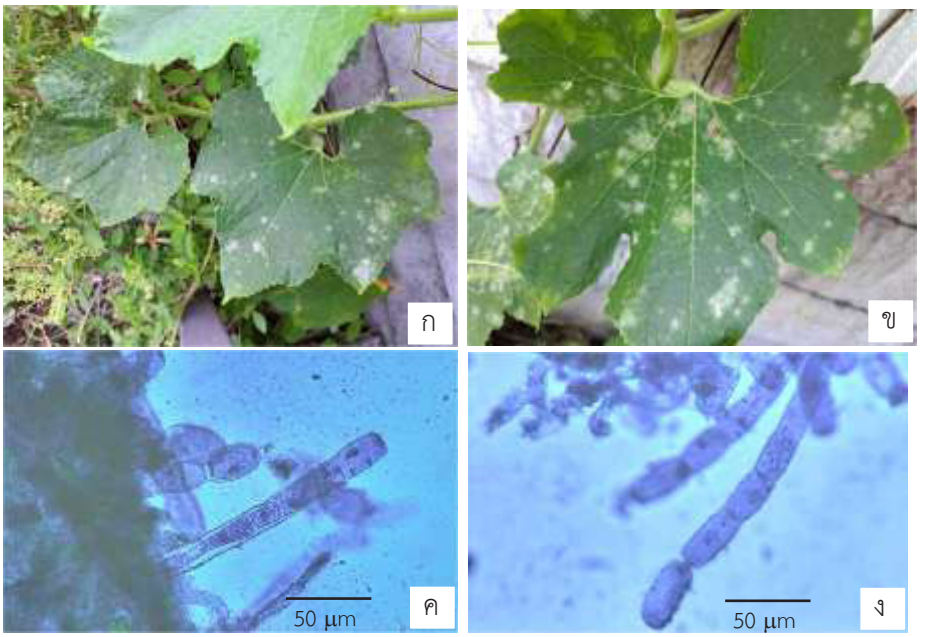
อาณาจักร	Fungi
ไฟลัม	Ascomycota
ชั้น	Leotiomycetes
อันดับ	Helotiales
วงศ์	Erysiphaceae
สกุล	*Podosphaera*
ชนิด	*xanthii*

อาการ

พบการเข้าทำลายเด่นชัดบนใบสามารถพบเส้นใยเชื้อราเป็นปื้นสีขาวเจริญบนผิวใบ คล้ายผงแป้งสีขาวเกิดเป็นหย่อมๆ มักพบที่ใบล่างของต้น เชื้อจะสร้างฮอสโตเรียมรูปร่างกลมเจาะเข้าไปที่เซลล์อิพิเดอร์มิสของพืชเพื่อดูดซึมสารอาหาร เจริญเติบโตแพร่บนผิวใบ (Agrios, 2005; Kumar and Chandel, 2018; Frost, 2019) ซึ่งโคโลนีของเชื้อราจะสามารถเจริญเชื่อมถึงกันจนเจริญคลุมใบ (ภาพที่ 3.2ก-ข) (Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)

เมื่อเจริญเต็มที่เส้นใยเชื้อราจะสร้างก้านชูสปอร์สั้นๆ ที่ผิวพืช ที่ปลายก้านชูสปอร์จะสร้างสปอร์รูปไข่ 5-10 สปอร์ ต่อกันเป็นสายโซ่ (ภาพที่ 3.2ค-ง) (Burchett and Burchett, 2018; Kumar and Chandel, 2018; Frost, 2019; Oliver, 2024) ในประเทศที่อยู่ในเขตหนาวจะพบเชื้อราสร้างการสืบพันธุ์แบบใช้เพศโดยสร้างคริสโตทีเซียม ที่มีระยางศ์แบบเส้นใย (mycelioid appendage) เจริญเป็นกลุ่มรวมกับเส้นใยบนผิวใบ ภายในมี 1 แอสคัสเป็นที่เกิดของแอสโคสปอร์เพื่ออยู่ข้ามฤดูหนาว และเมื่อถึงฤดูใบไม้ผลิแอสโคสปอร์จะถูกปล่อยออกมา โดยคริสโตทีเซียมจะดูดน้ำและเปิดออก ซึ่งปลายถุง

แอสคัสในแต่ละคริสโตทีเซียมจะค่อยๆ โปร่งออกมา เปิดออกและปล่อยแอสโคสปอร์ออกไป ขณะที่ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะพบการสร้างสปอร์ในแบบการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ (Kunova *et al*., 2021; Bao *et al*., 2022)



ภาพที่ 3.2 อาการของโรคราแป้งของฟักเขียวที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Podosphaera pannosa* ที่แปลงปลูกตำบลไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

ก.-ข. อาการโรคราแป้งที่ใบของฟักเขียว

ค.-ง. ก้านชูสปอร์และสปอร์ของเชื้อรา *P. pannosa* (ย้อมสีด้วย cotton blue)

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

สปอร์สามารถแพร่กระจายได้โดยลมและเข้าทำลายใบพืชได้ทันทีถ้าอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสม โดยสปอร์จะงอกเป็นท่อเจริญสั้นๆ หรือเส้นใยขนาดเล็กเข้าทำลายพืชโดยตรงและสร้างฮอสโตเรียมรูปร่างกลมเจาะที่เซลล์อิพิเดอร์มิสเพื่อดูดซึมสารอาหารจากพืช การเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคราแป้งจะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชและ

ทำให้เซลล์พืชขาดน้ำ ไม่สามารถเจริญได้ดี ในสภาพอากาศแห้งใบพืชอาจยกตัวขึ้นและหงิกงอ ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสมจะเกิดกระจายทั่วทั้งใบ และลุกลามขึ้นไปยังใบส่วนบนของต้น ต่อมาใบค่อยๆ ซีดเหลืองและแห้ง หากโรคระบาดรุนแรงจะลุกลามไปยังทุกส่วนของพืช ทำให้ต้นแห้งตายในที่สุด ถ้าพืชเป็นโรคในระยะติดผลอ่อน จะทำให้ผลแกร็น บิดเบี้ยว ผิวขรุขระ ผิวลาย เชื้อราสามารถอยู่ข้ามฤดูอยู่ในเศษซากพืช (Frost, 2019; Kunova *et al*., 2021; Bao *et al*., 2022)

การควบคุม

ควรตรวจแปลงปลูกอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนหรือมีความชื้นสูง เมื่อพบโรคเริ่มระบาดสามารถฉีดพ่นด้วยสารป้องกันกำจัดโรคพืช เช่น ไตรฟลอกซีสโตรบิน + ฟลูโอไพแรม (trifloxystrobin + fluopyram) ไตรฟลอกซีสโตรบิน + ทีบูโคนาโซล (trifloxystrobin + tebuconazole) เพนทิโอไพแรด (penthiopyrad) โพรพิเนบ (propineb) หรือเตตระโคนาโซล (tetraconazole) (Qiu *et al*., 2015; Kunova *et al*., 2021; Bao *et al*., 2022) ควรเก็บเศษซากพืชไปทำลายนอกแปลงปลูกหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว นอกจากนี้ยังมีเชื้อราที่เป็นปฏิปักษ์ที่ใช้ควบคุมโรคราแป้ง เช่นชีวภัณฑ์เชื้อรา *Ampelomyces quisqualis* (Kumar and Chandel, 2018; Oliver, 2024)

3.2 โรคทางใบที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Ascomycota (Foliar Diseases Caused by Fungi in Phylum Ascomycota)

เชื้อราบางชนิดในกลุ่มนี้ เช่น *Alternaria*, *Bipolaris*, *Cercospora*, *Cladosporium*, *Pyricularia*, *Septoria* และ *Stemphylium* ก่อให้เกิดโรคทางใบได้หลายชนิด (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Prechsl *et al*., 2023; Oliver, 2024) โดยเชื้อจะสร้างสปอร์แพร่กระจายทางลม ฝน น้ำ รวมทั้งแมลง และเข้าทำลายใบพืช เมื่อเข้าทำลายพืชแล้วเชื้อจะสร้างสปอร์อีกหลายครั้งเพื่อเข้าทำลายพืชซ้ำ เชื้อราสามารถอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบสปอร์และเส้นใยในใบที่ร่วงหล่นและเศษซากพืชในดิน เมื่อพืชยืนต้นถูกเข้าทำลายเชื้อจะอยู่ข้ามฤดูในต้นพืชบริเวณเนื้อเยื่อพืชที่เชื้อเข้าทำลาย (Gaba *et al*., 2022; Prechsl *et al*., 2023; Oliver, 2024) เชื้อรายังสามารถเข้าทำลายเมล็ดและเมื่อเมล็ดงอกเชื้อจะเข้าทำลายต้นกล้าต่อ การควบคุมส่วนใหญ่จะนิยมใช้พันธุ์

ต้านทานหรือใช้สารเคมีกลุ่มดูดซึมฉีดพ่นหรือคลุกเมล็ด ปลูกด้วยเมล็ดที่ปลอดเชื้อร่วมกับการเขตกรรม โรคที่สำคัญได้แก่

3.2.1 โรคราดำ (Sooty Mold)

โรคราดำส่วนใหญ่จะพบบนใบของพืช โดยเชื้อราจะสร้างเส้นใยสีดำเจริญเคลือบบนผิวใบหรือเป็นกลุ่มก้อนบนส่วนของพืช สามารถพบได้ทั่วไปโดยเฉพาะในเขตร้อนชื้น โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Cladosporium* spp. หรือ *Capnodium* spp. (Agrios, 2005; Oliver, 2024) โดยเชื้อรา *Cladosporium* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Dothideomycetes
อันดับ Cladosporiales
วงศ์ Cladosporiaceae
สกุล *Cladosporium*

อาการ

เชื้อราสร้างเส้นใยสีดำเจริญเคลือบบนผิวใบของพืช เริ่มแรกจะพบเป็นจุดปื้นดำเล็กๆ ต่อมาจะแผ่ขยายใหญ่ เชื้อราสาเหตุโรคราดำจะไม่เข้าทำลายพืชโดยตรงแต่จะเจริญบนผิวพืชที่มีฟิล์มน้ำหวานที่พืชหรือแมลงโดยเฉพาะพวกเพลี้ยปล่อยออกมาเคลือบอยู่บนผิวใบ เมื่อเจริญเต็มที่เชื้อราจะสร้างก้านชูสปอร์และสปอร์เป็นแผ่นสีดำเป็นปื้นเคลือบบนผิวใบ (ภาพที่ 3.3) (Chomnunti *et al*., 2014; Frost, 2019)

การพัฒนาของโรค

สปอร์สามารถแพร่กระจายได้โดยลมและเจริญบนผิวใบที่มีฟิล์มน้ำหวานที่ปล่อยมาจากแมลงเคลือบอยู่บนผิวใบ สามารถพบได้ในใบมะม่วง ทุเรียน เงาะ ซึ่งแผ่นนี้สามารถลอกเป็นแผ่นได้ถ้าอากาศแห้ง ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช การพบเชื้อรานี้บนใบพืชอาจบ่งบอกได้ว่าพืชนี้ขาดการดูแล ไม่มีการตัดแต่งกิ่งให้โปร่ง มีแมลงเข้าอาศัยและทำลาย

การควบคุม

สามารถทำได้โดยการตัดแต่งกิ่งให้โปร่ง ให้มีแสงส่องและอากาศถ่ายเทในทรงพุ่ม ซึ่งแสงจะช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคราดำได้ ควรกำจัดแมลงออกโดยการฉีดพ่นสารไล่หรือสารป้องกำจัดแมลง เป็นต้น (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)



ภาพที่ 3.3 อาการโรคราดำบนใบมะม่วงที่เกิดจากเชื้อรา *Cladosporium* sp. เจริญเคลือบบนผิวใบ ที่แปลงปลูกตำบลไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนบุรี
ก. อาการโรคราดำบนใบมะม่วง
ข. ก้านชูสปอร์และสปอร์ของเชื้อราของ *Cladosporium* sp.
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

3.2.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria* (Plant Disease Caused by *Alternaria*)

โรคที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Alternaria* spp. โดยเชื้อจะเข้าทำลายใบ ลำต้น ดอกและผลของไม้ยืนต้น ผัก ไม้ดอก การเข้าทำลายอย่างต่อเนื่องจะส่งผลต่อผลผลิต (Burchett and Burchett, 2018; Prechsl *et al*., 2023; Oliver, 2024) อาการส่วนใหญ่จะทำให้เกิดอาการใบจุดหรืออาการใบไหม้ นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้า ลำต้น หัวและผลเน่า เช่น โรคใบไหม้ในมันฝรั่งและมะเขือเทศ ใบและผลจุดของคะน้า แตง หัวหอม ส้มและแอปเปิล (Agrios, 2005; Frost, 2019; Oliver, 2024) โดยเชื้อรา *Alternaria* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Dothideomycetes
อันดับ Pleosporales
วงศ์ Pleosporaceae
สกุล *Alternaria*

อาการ

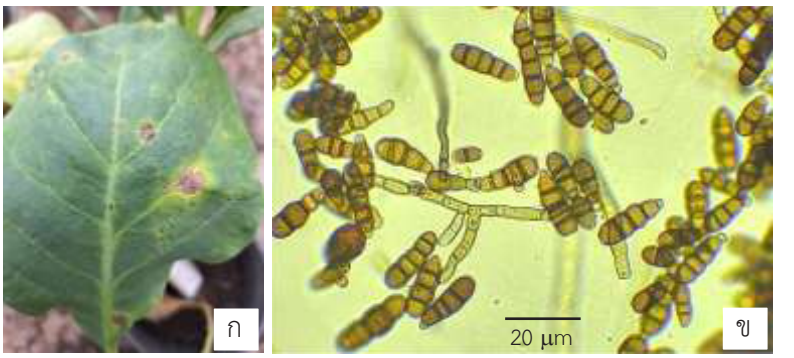
อาการส่วนใหญ่จะพบที่ใบ โดยจะพบแผลจุดสีน้ำตาลดำจำนวนมากกระจายทั่วใบ จุดแผลมีสีเหลืองล้อมรอบต่อมาแผลจะขยายใหญ่ขึ้น มีลักษณะเป็นวงซ้อนเป็นชั้นๆ โดยส่วนใหญ่จะเริ่มที่ใบล่างและโรคจะลามพัฒนาขึ้นใบบน ใบที่เชื้อเข้าทำลายจะเหลือง แก่เร็วกว่าปกติ แห้งและเหี่ยวร่วงลง (ภาพที่ 3.4ก) (Gaba *et al*., 2022; Prechsl *et al*., 2023) ขณะที่แผลที่ลำต้นจะเริ่มจากแผลจุดดำขนาดเล็ก จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นแผลแคงเกอร์ที่มีขนาดใหญ่ ฆ่าเนื้อเยื่อของลำต้นทำให้ต้นตายได้ ในส่วนที่อยู่ใต้ดิน เช่น หัวมันฝรั่ง จะพบแผลฉ่ำน้ำสีดำ เชื้อรา *Alternaria* สามารถเข้าทำลายผลไม้ เช่น ส้ม โดยเฉพาะช่วงก่อนเก็บเกี่ยวแต่บางชนิดสามารถเข้าทำลายช่อดอก (Burchett and Burchett, 2018; Ali *et al*., 2023; Prechsl *et al*., 2023; Oliver, 2024)

การพัฒนาของโรค

เชื้อราสาเหตุโรค *Alternaria* spp. สร้างเส้นใยสีดำ สร้างก้านชูสปอร์สั้นๆ ตั้งตรงเกิดเดี่ยวๆ บริเวณแผลที่เชื้อเข้าทำลาย ที่ปลายก้านชูสปอร์จะสร้างสปอร์ต่อเป็นสายโซ่ สปอร์มีขนาดใหญ่ยาวรูปร่างคล้ายกระบองมีหลายเซลล์ สีน้ำตาลดำ มีผนังกั้นทั้งทางยาวและทางขวาง (ภาพที่ 3.4ข) สามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลม นอกจากนี้เชื้อยังสามารถสร้างสารพิษได้หลายชนิด (Agrios, 2005; Frost, 2019; Prechsl *et al*., 2023; Oliver, 2024)

เชื้อรา *Alternaria* spp. สามารถอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเส้นใยหรือสปอร์ในพืช เศษซากพืชหรือเมล็ด เชื้อสามารถติดไปกับเมล็ดเมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า เชื้อจะเข้าทำลายต้นกล้าต่อทำให้เป็นโรคกล้าเน่าหรือโคนต้นเน่า (Burchett and Burchett, 2018; Ali *et al*.,

2023; Prechsl *et al*., 2023) เชื้อสามารถผลิตสปอร์ได้จำนวนมากในช่วงที่มีความชื้นหรือน้ำค้างสูง เมื่อสปอร์งอกจะเข้าทำลายพืชได้โดยตรง เข้าทางบาดแผลหรือทางช่องเปิดตามธรรมชาติของใบและผลพืชอาศัยโดยจะพบแผลจุดขนาดเล็กสีดำที่ผลมีลักษณะฉ่ำน้ำ กลางแผลยุบตัวลงและขยายใหญ่ทั่วผล ถ้าสภาพอากาศชื้นจะพบบริเวณแผลเต็มไปด้วยสปอร์ ต่อมาแผลจะขยายแพร่เข้าไปในเนื้อทำให้เกิดอาการใบไหม้และผลเน่า (Agrios, 2005; Oliver, 2024)



ภาพที่ 3.4 อาการโรคใบจุดดำของคะน้าที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Alternaria brassicicola*
ก. อาการโรคใบจุดบนใบคะน้า
ข. ก้านชูสปอร์และสปอร์ของเชื้อรา *A. brassicicola* KUFA 0129
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุม

โรคพืชที่เกิดจากเชื้อ *Alternaria* spp. สามารถควบคุมได้โดยใช้พันธุ์ต้านทาน การปลูกด้วยเมล็ดปลอดโรคและฉีดพ่นสารเคมีที่ใบ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้เหมาะสมจะช่วยลดอัตราการเข้าทำลายของเชื้อ (Burchett and Burchett, 2018; Ali *et al*., 2023; Prechsl *et al*., 2023) รวมทั้งการใช้วิธีเขตกรรมทั้งการปลูกพืชหมุนเวียน กำจัดและเผาทำลายเศษซากพืชเพื่อลดปริมาณเชื้อในแปลงปลูก

3.2.3 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Pseudocercospora* (Plant Disease Caused by *Pseudocercospora*)

โรคใบจุดดำสิกะโตกา (sigatoka) ในกล้วยพบได้ทั่วโลกเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรค *Pseudocercospora musae* ซึ่งนับเป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับการผลิตกล้วย ซึ่งชื่อโรคสิกะโตกามาจากชื่อหมู่บ้านที่หมู่เกาะฟิจิ ซึ่งเป็นสถานที่ที่พบโรคนี้เป็นครั้งแรก โรคนี้จะเข้าทำลายใบกล้วยส่งผลให้ใบไหม้ เหี่ยวและแห้งตายในที่สุด (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) เชื้อรา *P. musae* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Dothideomycetes
อันดับ Mycosphaerellales
วงศ์ Mycosphaerellaceae
สกุล *Pseudocercospora*
ชนิด *musicola*

อาการ

เริ่มแรกจะพบจุดหรือขีดสีเหลืองเขียวบนเส้นใบยาวขนานกับเส้นใบของกล้วย ขอบแผลจะล้อมรอบด้วยสีเหลือง ต่อมาจุดแผลจะขยายยาวขึ้นตามเส้นใบและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตรงกลางแผลเป็นสีเทา จุดจะขยายใหญ่ขึ้นส่งผลให้ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แผลอาจขยายเชื่อมติดกันกลายเป็นใบไหม้ขนาดใหญ่ ใบจะเหี่ยวแห้งตายในที่สุด (ภาพที่ 3.5) (Chomnunti and Churchill, 2011; Burchett and Burchett, 2018; Arie, 2019) ถ้าสภาวะแวดล้อมเหมาะสมใบจะแห้งตายภายใน 2-3 อาทิตย์ โดยจะเริ่มพบอาการในใบล่างแล้วขยายลุกลามไปใบบน การสูญเสียใบและพื้นที่ใบจะทำให้เครือกล้วยเจริญไม่เต็มที่ เครือกล้วยจะเหี่ยว ผลจะลีบเล็ก ถ้าเข้าทำลายตอนผลใกล้เก็บเกี่ยว ผลกล้วยจะไม่ได้ขนาด เปลี่ยนเป็นสีซีด (Chomnunti and Churchill, 2011; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)



ภาพที่ 3.5 อาการโรคใบจุดดำสิกะโตกาของกล้วยหอม (ก-ข)
ที่แปลงปลูก ตำบลสวี อำเภอสวี จังหวัดชุมพร
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

เชื้อราสาเหตุโรค *P. musae* สร้างสปอร์แบบสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่าสปอร์หรือโคนิเดียบนผิวใบทั้งสองด้าน สามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลม หรือฝน (Agrios, 2005; Kema, 2024; Oliver, 2024) เมื่อตกลงบนใบและจะงอกบนใบที่เปียกหรือมีความชื้นสูงเข้าทำลายใบพืชได้ทันที และสร้างสปอร์แบบสืบพันธุ์แบบใช้เพศเรียกว่าแอสโคสปอร์ในเพอริทีเซียมในช่วงที่มีอากาศร้อนชื้น ซึ่งแอสโคสปอร์จะแพร่กระจายได้ง่ายโดยลมเช่นเดียวกัน การเข้าทำลายทั้งแอสโคสปอร์หรือสปอร์ส่งผลให้มีอาการบนใบได้เหมือนกัน (Ismaila *et al*., 2023; Lal *et al*., 2024; Oliver, 2024)

การควบคุม

ควรดำเนินการควบคุมโดยใช้หลายวิธีร่วมกันทั้งการเขตกรรม ฉีดพ่นสารเคมีกลุ่มคอปเปอร์หรือกลุ่มไดไทโอคาร์บอเมต (dithiocarbomate) ทุก 14 วัน ตลอดปีหรือทุก 4 หรือ 6 สัปดาห์ทั้งนี้ขึ้นกับความรุนแรงของโรค (Agrios, 2005; Chomnunti and Churchill, 2011; Ismaila *et al*., 2023; Lal *et al*., 2024)

3.2.4 โรคที่เกิดจากเชื้อรา *Bipolaris* (Plant Disease Caused by *Bipolaris*)

3.2.4.1 โรคใบไหม้ของข้าวโพด (Corn Leaf Blight)

โรคใบไหม้ในข้าวโพดจะมีสองโรคที่สำคัญได้แก่โรคใบไหม้แผลเล็กที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris maydis* ก่อให้เกิดแผลจุดขนาดเล็กสีเทาบนใบจำนวนมาก และโรคใบไหม้แผลใหญ่เกิดจากเชื้อรา *Exserohilum turcicum* ที่ก่อให้เกิดโรคใบไหม้แผลใหญ่ (Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) เชื้อราทั้งสองสกุลมีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Fungi
ไฟลัม	Ascomycota
ชั้น	Dothideomycetes
อันดับ	Pleosporales
วงศ์	Pleosporaceae
สกุล	*Bipolaris*
	Exserohilum
ชนิด	*maydis*
	turcicum

อาการ

เชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้แผลเล็กก่อให้เกิดแผลจุดขนาดเล็กที่ต้น กาบใบ กาบฝัก หรือเมล็ดทำให้เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีดำ ทำให้ฝักเน่าและฝักหักพับลงมา ต้นกล้าที่เจริญมาจากเมล็ดข้าวโพดที่มีเชื้อเข้าทำลายจะเหี่ยวและตายภายใน 2-3 สัปดาห์หลังจากปลูก มีรายงานการแพร่ระบาดของสายพันธุ์ race T ที่ก่อให้เกิดใบไหม้แผลเล็กรุนแรงในข้าวโพดในปีคริสต์ศักราช (ค.ศ.) 1970 ส่งผลเสียหายต่อผลผลิตโดยรวมกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Berger, 2024; Mehl, 2024) ส่วนโรคใบไหม้แผลใหญ่เชื้อราสาเหตุโรคจะเข้าทำลายเฉพาะใบ เริ่มแรกจะพบจุดขนาดเล็กสีเหลืองซีดต่อมาแผลจะขยายใหญ่ไปตามเส้นใบทำให้เกิดแผลใหม้ขนาดใหญ่ แผลสามารถขยายใหญ่และเชื่อมติดกันจนใบไหม้และเหี่ยวทั้งใบ (ภาพที่ 3.6) นอกจากนี้เชื้อทั้งสองชนิดก่อให้เกิดแผลจุดเล็กสีดำบนข้าวฟ่างเหมือนกัน (Berger, 2024; Frost, 2019; Mehl, 2024)



ภาพที่ 3.6 โรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดหวาน แปลงปลูกตำบลโนนสุวรรณ อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์
ก. อาการโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดในระยะเริ่มต้น
ข. อาการโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพด
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

เชื้อราจะสร้างสปอร์ในระยะการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศได้จำนวนมาก และสามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญของข้าวโพด สามารถอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเส้นใยและสปอร์ในเศษซากพืช สปอร์ของเชื้อสามารถแพร่กระจายโดยลมตลอดทั้งปี โดยเฉพาะช่วงที่มีความชื้นสูง เมื่อสปอร์ตกลงบนใบข้าวโพดจะยึดเกาะ งอกและสร้างท่อเจริญ ที่ปลายท่อเจริญจะสร้างแอพเพรสโซเรียม เพื่อเจาะผิวพืชเข้าทำลายหรือเข้าช่องเปิดตามธรรมชาติ เช่น ปากใบ (Agrios, 2005; Skamnioti and Gurr, 2009; Valent, 2021; Ebbole, 2024)

การควบคุม

ในการควบคุมโรคทั้งโรคใบไหม้แผลเล็กและใบไหม้แผลใหญ่ในข้าวโพด ควรเริ่มจากการใช้เมล็ดพันธุ์ปลอดโรค หมั่นสำรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากเชื้อสามารถเข้าทำลายตั้งแต่ระยะกล้า ถ้าเริ่มพบอาการของโรคให้ฉีดพ่นด้วยสารป้องกันกำจัดโรคพืชเช่น อะซอกซีสโตรบิน + ไดฟีโนโคนาโซล (azoxystrobin + difenoconazole) ไตรโฟรีน (triforine) โพรพิโคนาโซล (propiconzole) หรือคาร์เบนดาซิม + อีพอกซีโคนาโซล

(carbedazim + epoxyconazole) อัตราการใช้ตามฉลาก ทำลายเศษซากข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)

3.2.4.2 โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว (Rice Brown Spot)

โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris oryzae* ที่ใบ รวง กาบใบ ส่งผลให้มีแผลจุดที่มีสีเทาตรงกลางและมีสีน้ำตาลล้อมรอบแผล (Agrios, 2005; Oliver, 2024)

อาการ

เริ่มแรกจะพบแผลจุดสีน้ำตาลรูปร่างรูปไข่หรือทรงกระบอก ตรงกลางมีสีเทาจนถึงสีขาว (ภาพที่ 3.7) แผลอาจขยายติดกันจนเป็นอาการใบไหม้ขนาดเล็ก อาการที่กาบใบจะเหมือนที่ใบ ส่งผลทำให้ผลผลิตลดลง 30 เปอร์เซ็นต์โดยทั้งใบและกาบใบอาจถูกปกคลุมด้วยจุดสีดำขนาดเล็ก ทำให้ต้นอ่อนแอเจริญไม่เต็มที่ ต่อมาจะพบลักษณะเป็นปื้นกำมะหยี่ที่เป็นที่เกิดของก้านชูสปอร์และสปอร์ เชื้อจะเข้าทำลายใบได้ในตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะออกรวง (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Ebbole, 2024; Oliver, 2024) นอกจากนี้เชื้อยังสามารถเข้าทำลายเมล็ดข้าวทำให้เป็นโรคเมล็ดด่าง ส่งผลให้เมล็ดข้าวลีบ เนื้อในข้าวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

การพัฒนาของโรค

เชื้อราจะสร้างสปอร์ในระยะการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศได้จำนวนมาก และสามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญของข้าว เชื้อสามารถติดไปกับเมล็ดพันธุ์ แพร่กระจายไปกับลม สปอร์สามารถอาศัยอยู่ข้ามฤดูในดินและเศษซากพืชในแปลงปลูก (Barnwal *et al*., 2013; Ebbole, 2024; Oliver, 2024) เมื่อสปอร์ตกลงบนใบข้าว ถ้าสภาวะอากาศเหมาะสมเชื้อสามารถเข้าทำลายพืชและสร้างสปอร์ภายใน 7 วันหลังการเข้าทำลาย (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Ebbole, 2024; Oliver, 2024) สปอร์ชุดที่สองสามารถเข้าทำลายใบข้างเคียงทำให้พบแผลจุดกระจายทั่วใบทั้งกอ ถ้าแผลมีจำนวนมากจะส่งผลให้ใบเหลือง แห้งลง (ภาพที่ 3.7)



ภาพที่ 3.7 อาการของโรคใบจุดสีน้ำตาลบนใบข้าวกข43 ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris oryzae* จากแปลงปลูก ตำบลบางรักใหญ่ อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุมโรค

สามารถฉีดพ่นชีวภัณฑ์ *Trichoderma harzianum*, *T. pseudokoningii* และ *Pseudomonas* หรือสารเคมีโพรพิโคนาโซล ไอโพรไดโอน (iprodione) คาร์เบนดาซิม และอะซอกซีสโตรบิน อัตราการใช้ตามฉลาก (Agrios, 2005; Ebbole, 2024; Oliver, 2024)

3.2.5 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia* (Plant Disease Caused by *Pyricularia*)

เชื้อรา *Pyricularia* ก่อให้เกิดโรคไหม้ในข้าวและใบจุดในพืชตระกูลหญ้าอื่นๆ โดยโรคไหม้ข้าวจะพบได้ในทุกประเทศที่ปลูกข้าวและนับเป็นโรคที่สำคัญที่สุดของข้าว โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปลูกในระบบชลประทานหรือมีปริมาณน้ำฝนมากร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจำนวนมากและปลูกพืชหนาแน่น (Miah *et al*., 2013; Frost, 2019) สามารถส่งผลให้สูญสียผลผลิตได้สูงถึง 50-90 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราสาเหตุโรคไหม้ข้าวเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อ *Pyricularia oryzae* ซึ่งแตกต่างจากเชื้อรา *P. grisea* ที่ทำให้เกิด

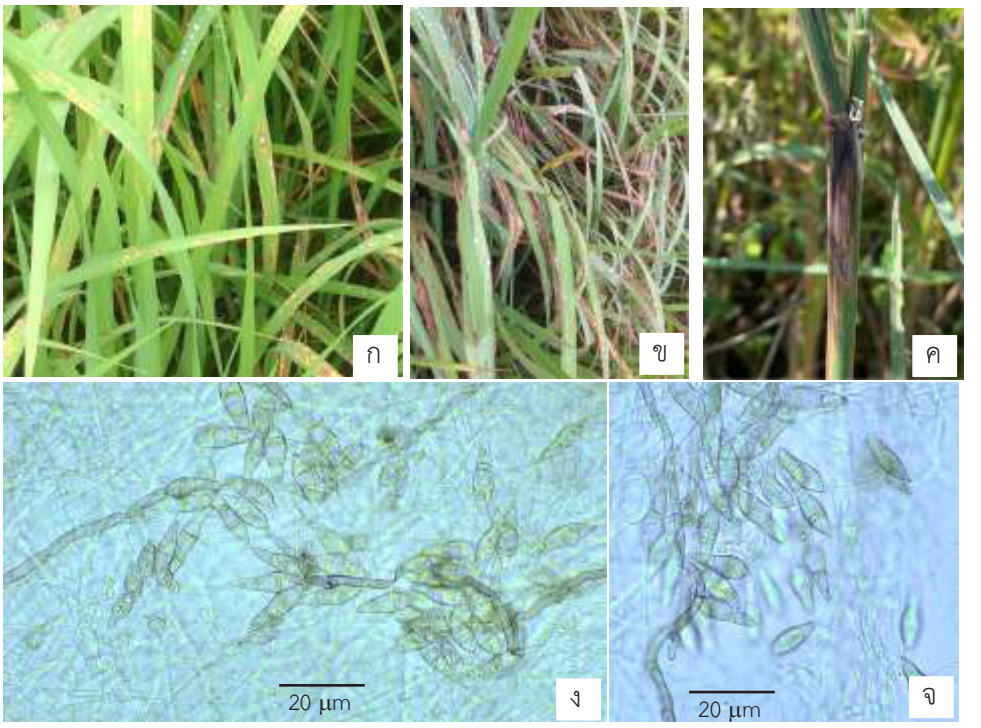
โรคใบจุดสีเทาของหญ้า (Agrios, 2005; Ebbole, 2024) โดยเชื้อรา *P. oryzae* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Sordariomycetes
อันดับ Magnaporthales
วงศ์ Pyriculariaceae
สกุล *Pyricularia*
ชนิด *oryzae*

อาการ

เชื้อราสาเหตุโรคสามารถเข้าทำลายต้นข้าวได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้า จนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยวโดยจะมีอาการของโรคในแต่ละระยะการเจริญของข้าว ดังนี้ ในระยะกล้าที่ใบของต้นข้าวจะพบแผลจุดหัวท้ายแหลมคล้ายรูปดวงตาสีน้ำตาลหรือน้ำตาลอมเทา ตรงกลางแผลมีสีน้ำตาลเข้ม อาจพบวงสีเหลืองล้อมรอบแผล (ภาพที่ 3.8ก) แผลอาจพบกระจายทั่วใบทุกใบของต้นขึ้นกับความอ่อนแอของพันธุ์ข้าวและความรุนแรงของโรค ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสมแผลจะขยายใหญ่ ลุกลามและกระจายทั่วใบทำให้ใบไหม้ทั้งใบแห้งเปลี่ยนสีน้ำตาล ต้นกล้าข้าวจะแห้งตายอย่างรวดเร็ว (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557; Kongcharoen *et al*., 2020; Seekham *et al*., 2024)

ในระยะแตกกอสามารถพบอาการของโรคได้ทุกส่วนเหนือดินทั้งที่ใบ กาบใบ ข้อต่อของใบ และข้อต่อของลำต้น โดยจะพบแผลรูปคล้ายรูปดวงตาหรือมีรูปร่างไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความอ่อนแอของพันธุ์ข้าวและความรุนแรงของโรค แผลมีสีน้ำตาล ตรงกลางแผลมีสีเทาอาจพบวงสีเหลืองล้อมรอบแผล (ภาพที่ 3.8ข) แผลอาจขยายไปตามเส้นกลางใบ โดยกลางแผลแห้งมีสีเทาทำให้ใบแห้ง แตกและหักพับลงมาครึ่งใบ แผลอาจลุกลามติดต่อกัน ถ้าโรคระบาดรุนแรงใบจะแห้งตายทั้งใบ (Kongcharoen *et al*., 2020; Seekham *et al*., 2024)



ภาพที่ 3.8 ลักษณะอาการของโรคใบไหม้และกาบใบไหม้ของข้าว ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* จากแปลงปลูกตำบลไทรน้อย อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ก.-ข. ลักษณะอาการของโรคใบไหม้

ค. ลักษณะอาการของโรคกาบใบไหม้

ง. ก้านชูสปอร์และสปอร์เชื้อรา *Pyricularia oryzae* KUFA 0068

จ. สปอร์เชื้อรา *Pyricularia oryzae* KUFA 0068

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ในระยะออกรวง เชื้อสามารถเข้าทำลายใบ กาบใบและคอรวงตั้งแต่ข้าวพึ่งออกรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ลักษณะอาการที่ใบจะมีแผลคล้ายกับในระยะแตกกอ ขณะที่อาการที่กาบใบจะพบอาการแผลปื้นสีน้ำตาลที่กาบใบ (ภาพที่ 3.8ค) ที่คอรวงจะพบแผลปื้นสีน้ำตาลต่อมาแผลจะขยายใหญ่เป็นโรคไหม้คอรวง การที่เชื้อราเข้าทำลายคอรวงทำให้ไม่สามารถส่งน้ำและสารอาหารไปเลี้ยงรวงข้าวได้ รวงข้าวจึงเจริญไม่เต็มที่มีขนาดเล็กและสั้นกว่าปกติ เมล็ดในรวงข้าวจะไม่สมบูรณ์ มีขนาดเล็กหรือลีบแห้งอาจเปลี่ยนเป็นสีขาวปน

เทาทั้งรวง นอกจากนี้คอรวงอาจหักพับลงมาทำให้เมล็ดข้าวไม่เจริญหรือร่วงหล่น (Seekham *et al*., 2024)

การพัฒนาของโรค

เชื้อราจะสร้างสปอร์ในระยะการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศโดยสร้างก้านชูสปอร์ตรงๆ สั้นๆ จากเส้นใย ที่ปลายมีการผลิตสปอร์มีผนังกั้น 2 เซลล์ รูปร่างคล้ายลูกแพร์ (ภาพที่ 3.8 ง-จ) สปอร์ของเชื้อสามารถแพร่กระจายโดยลมตลอดทั้งปี โดยเฉพาะช่วงที่มีความชื้นสูง เมื่อสปอร์ตกลงบนใบข้าวจะยึดเกาะโดยสร้างสารเหนียวที่ปลายสปอร์ทั้งสองข้าง (Ebbole, 2024) ต่อมาสปอร์จะงอกและสร้างท่อเจริญ ที่ปลายท่อเจริญจะสร้างแอพเพรสโซเรียม เพื่อเจาะผิวพืชเข้าทำลายหรือเข้าช่องเปิดตามธรรมชาติ เช่น ปากใบ ใบอ่อนหรือลำต้นอ่อนของต้น กล้าข้าวจะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อรามากกว่าต้นแก่ โดยเฉพาะในสภาพอากาศเหมาะสม (Agrios, 2005; Skamnioti and Gurr, 2009; Valent, 2021; Ebbole, 2024) โดยเชื้อจะสามารถเข้าทำลายต้นข้าวได้ดีในแปลงที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจำนวนมาก ใบเปียกเวลานาน อุณหภูมิช่วงกลางคืนอยู่ประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส เชื้อมีหลากหลายสายพันธุ์ที่มีความรุนแรงแตกต่างกัน เชื้อราสามารถอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเส้นใยและสปอร์ในฟางข้าวและเมล็ดข้าว รวมทั้งในวัชพืชตามคันนา (Frost, 2019; Ebbole, 2024)

การควบคุม

ในพื้นที่ที่โรคระบาดไม่รุนแรงอาจปลูกข้าวพันธุ์ต้านทาน ในพื้นที่ที่มีการระบาดรุนแรงก่อนปลูกควรเตรียมแปลงให้ดี เก็บเศษซากพืชออกจากแปลง ไถตากดิน ใช้เมล็ดพันธุ์ที่สะอาดปลอดโรคหรือคลุกเมล็ดด้วยสารเคมี (Skamnioti and Gurr, 2009; Miah *et al*., 2013) ถ้าพบเห็นอาการของโรคในระยะเริ่มต้น ควรฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เนื่องจากเชื้อสามารถเข้าทำลายได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงก่อนเก็บเกี่ยวจึงควรตรวจดูแปลงอย่างสม่ำเสมอ ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่าที่จำเป็น ไม่ควรปลูกข้าวหนาแน่น ฉีดพ่นสารเคมีโดยเฉพาะในกลุ่มดูดซึมที่ยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Agrios, 2005; Valent, 2021; Ebbole, 2024)

3.3 โรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum* (Anthracnose Disease Caused by *Colletotrichum*)

แอนแทรคโนสมีความหมายถึงการเปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำ เชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสสามารถเข้าทำลายพืชได้ทั้งที่ใบ ลำต้น ผล โดยจะปรากฏจุดสีดำหรือจุดฉ่ำน้ำขอบแผลยกตัวสูงขึ้น ขณะที่กลางแผลยุบตัวลงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ หรือทำให้เกิดอาการเน่าดำที่กิ่งก้าน การเข้าทำลายที่ผลส่วนใหญ่เชื้อจะเข้าทำลายตั้งแต่ระยะออกดอกหรือผลอ่อน จากนั้นจะเจริญอาศัยแบบแฝงตัวไม่แสดงอาการ (latent infection) แต่จะแสดงอาการเมื่อผลแก่หรือสุก (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) โดยจะพบแผลจุดดำที่ผิวของผล จากนั้นแผลจะขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ กลางแผลยุบตัวลง ภายใต้สภาวะชื้นที่กลางแผลจะพบโครงสร้างที่ใช้สำหรับสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่าอะเซอวูรัส ซึ่งเป็นที่เกิดของกลุ่มสปอร์สีชมพูอมส้ม

โดยโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum* spp. จะสร้างสปอร์หรือโคนิเดีย สีใส เซลล์เดียว รูปร่างทรงรีหรือรูปไข่ภายในที่เกิดสปอร์ที่เรียกว่าอะเซอวูรัสและสามารถสร้างสปอร์ในระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศที่เรียกว่าแอสโคสปอร์ในถุงแอสคัส ในโครงสร้างห่อหุ้มที่เรียกว่าเพอริทีเซียม (Burchett and Burchett, 2018; Da Silva *et al*., 2020; Adikaram, 2024) เชื้อราจะสร้างอะเซอวูรัสใต้เซลล์อิพิเดอร์มิสของพืช เมื่อเจริญเต็มที่จะดันให้เซลล์อิพิเดอร์มิสให้แตกออกเพื่อปล่อยสปอร์ออกมา ทั้งแอสโคสปอร์หรือสปอร์สามารถอยู่ข้ามฤดูในกิ่ง ใบหรือผลที่เชื้อเข้าทำลายหรือในเมล็ด โดยสปอร์สามารถเข้าทำลายซ้ำๆ ได้ในหนึ่งฤดูปลูกขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้น สปอร์สามารถงอกเป็นท่อเจริญ เข้าทำลายเนื้อเยื่อพืชได้โดยตรง (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) เส้นใยสามารถเจริญในเซลล์พืชโดยไม่แสดงอาการหรือทำให้เซลล์เริ่มยุบตัวลงและเน่า ซึ่งต่อมาเส้นใยจะสร้างอะเซอวูรัสและสปอร์ใต้ชั้นเซลล์อิพิเดอร์มิสของพืช เมื่อแก่จะดันเซลล์อิพิเดอร์มิสให้แตกปล่อยสปอร์ออกมา (Da Silva *et al*., 2017, 2019; Oliver, 2024)

โรคแอนแทรคโนสที่เกิดจาก *Colletotrichum* spp. พบในพืชหลายชนิดทั้งไม้ผล ไม้ดอก และ ผัก (De Silva *et al*., 2017, 2019; Oliver, 2024) และยังสามารถเข้าทำลายในพืชล้มลุก เช่น ถั่ว ฝ้าย แตง หัวหอม พริกไทย สตรอเบอร์รี่ ข้าวโพด มะเขือเทศ ซึ่งโรคจะระบาดรุนแรงในช่วงฤดูฝนหรือช่วงที่มีความชื้นสูง (Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024)

3.3.1 โรคแอนแทรคโนสของมะม่วง (Mango Anthracnose)

มะม่วงนับเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย ซึ่งมะม่วงแทบทุกสายพันธุ์จะอ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนส โดยเฉพาะมะม่วงที่ปลูกที่เขตร้อนชื้น (Zakaria, 2021; Adikaram, 2024) เชื้อสามารถเข้าทำลายได้ทุกส่วนเหนือดินทั้งผล ใบ กิ่งและดอกของมะม่วง โรคแอนแทรคโนสของมะม่วงเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ในบางครั้งอาจพบการเข้าทำลายของรา *C. acutatum* สปอร์ของเชื้อราสามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลมและฝน (Agrios, 2005; De Silva *et al*., 2019; Oliver, 2024) เชื้อรา *C. gloeosporioides* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Sordariomycetes
อันดับ Glomerellales
วงศ์ Glomerellaceae
สกุล *Colletotrichum*
ชนิด *gloeosporioides*

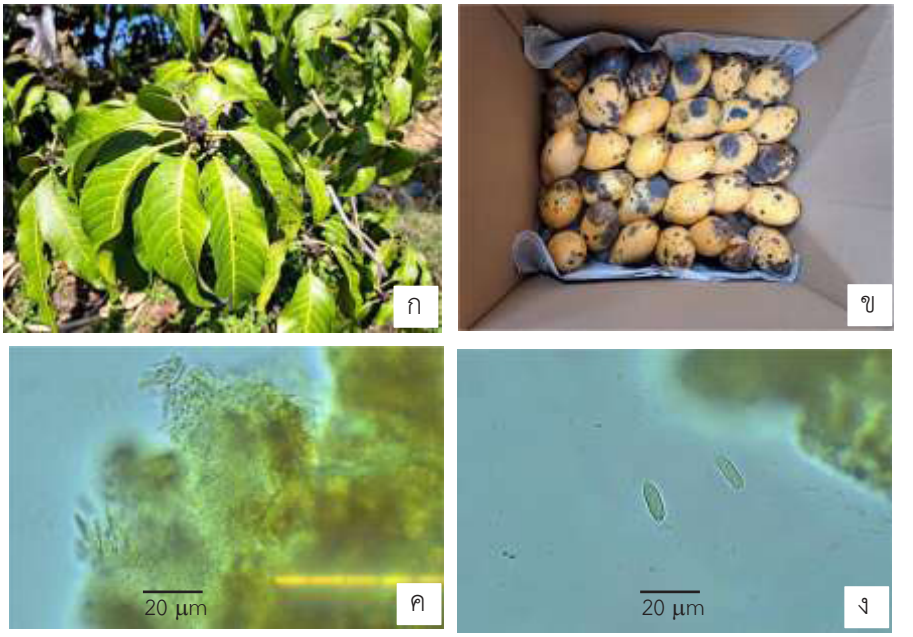
อาการ

พบจุดสีดำรูปร่างกลมหรือหลายเหลี่ยมกระจายทั่วใบสังเกตุได้ชัดในใบอ่อน (ภาพที่ 3.9ก) จุดสามารถขยายใหญ่ลามติดกันเป็นใบไหม้ต่อมาใบจะแห้งและร่วงหล่นโดยเฉพาะในอากาศชื้น ถ้าโรคระบาดรุนแรงจะทำให้ยอดไหม้ได้ อาการของโรคที่ผลจะปรากฏชัดเมื่อผลสุกโดยเริ่มแรกจะพบจุดสีน้ำตาล ต่อมาจุดแผลจะขยายใหญ่เป็นแผลสีน้ำตาลดำรูปร่าง

กลม เกือบกลมหรือรูปไข่หลายขนาดที่ผล เนื้อเยื่อแผลยุบตัวลงกลางแผลผิวมะม่วงอาจแตก หรืออาจพบอาการของโรคเป็นจุดๆ จากหัวถึงปลายผลตามของไหลของยางมะม่วงเมื่อเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 3.9ข) (Agrios, 2005; Frost, 2019; Adikaram, 2024) ถ้ามีความชื้นจะพบกลุ่มของอะเซอวูรัสสีชมพูอมส้ม ซึ่งเป็นที่เกิดของสปอร์รูปร่างเป็นท่อนสั้นของเชื้อรา *C. gloeosporioides* บริเวณกลางแผล (ภาพที่ 3.9ค-ง) นอกจากนี้เชื้อยังสามารถสร้างอะเซอวูรัส บนส่วนอื่นๆ ของมะม่วงที่เชื้อเข้าทำลาย บนผลอ่อนที่แห้ง ช่อดอก กิ่ง ยอด ซึ่งจะเป็นแหล่งของเชื้อในการเข้าทำลายผลต่อไป (De Silva *et al*., 2017, 2019; Zakaria, 2021; Adikaram, 2024) โดยจะสร้างได้ดีในสภาวะอากาศที่ชื้นมีความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์

การพัฒนาของโรค

เมื่อเชื้อตกลงบนใบจะพักตัวจากนั้นจะงอกสร้างแอพเพรสโซเรียม และสร้างเข็มหมุดเจาะเข้าชั้นคิวติเคิลของพืชเข้าทำลายใบ ทำให้เกิดอาการใบจุดโดยพบจุดสีดำรูปร่างกลมหรือหลายเหลี่ยมกระจายทั่วใบสังเกตุได้ชัดในใบอ่อน (Da Silva *et al*., 2020; Zakaria, 2021; Adikaram, 2024) เชื้อที่ใบจะเป็นแหล่งของเชื้อราในการเข้าทำลายช่อดอกและผลอ่อน เมื่อเข้าทำลายช่อดอกจะพบจุดสีน้ำตาลดำที่ช่อดอกส่งผลให้ดอกไม่ผสมเป็นผลอ่อนหรือดอกเปลี่ยนเป็นสีดำทั้งช่อดอก (De Silva *et al*., 2017; Zakaria, 2021; Adikaram, 2024) นอกจากนี้เชื้อสามารถเข้าทำลายผลอ่อนและจะหยุดพัฒนาเข้าสู่ระยะพักตัวและจะเจริญเติบโตอีกครั้งเมื่อผลสุก ในบางครั้งถ้าเชื้อเข้าทำลายผลอ่อนและไม่เข้าสู่ระยะพักตัว เชื้อจะดูดสารอาหารและทำให้ผลอ่อนแห้งเปลี่ยนเป็นสีดำทั้งผลเหมือนมัมมี่ติดอยู่ที่ช่อดอกหรือร่วงลงมา (Agrios, 2005; Adikaram, 2024) สปอร์สามารถแพร่โดยฝน ลม เข้าทำลายใบ ดอกและผลได้ตลอดฤดู ผลมะม่วงที่เชื้อเข้าทำลายเชื้อจะติดไปจนกระทั่งเก็บเกี่ยวและปรากฏอาการเมื่อผลสุกในระหว่างขนส่งหรือจำหน่ายและสามารถแพร่ไปผลอื่นที่อยู่ข้างเคียงในโรงเก็บ ระหว่างขนส่งหรือระหว่างวางตลาด (Agrios, 2005; Adikaram, 2024)



ภาพที่ 3.9 โรคแอนแทรคโนสของมะม่วงที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จากแปลงปลูกตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

ก. อาการโรคแอนแทรคโนสบนใบมะม่วง

ข. อาการโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วง

ค. อะเซอวูรัสและสปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* KUFA 0123

ง. สปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* KUFA 0123

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุม

สามารถฉีดพ่นสารเคมีด้วยไทโอฟาเนต-เมทิล (thiophanate-methyl) อิมาซาลิล (imazalil) และ โพรคลอราซ (prochloraz) ตั้งแต่มะม่วงออกใบอ่อนหรือออกช่อ ในการควบคุมหลังเก็บเกี่ยวสามารถชุบผลมะม่วงในน้ำร้อน 50-55 องศาเซลเซียส นาน 3-10 นาทีหรือชุบในน้ำร้อนผสมเบโนมิล (benomyl) หรือจุ่มผลในสารโพรคลอราซที่ความเข้มข้น 400 – 1,000 ส่วนในล้านส่วนหรือพีพีเอ็ม (part per million (ppm)) หรืออิมา

ซาอิลที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม หรือใช้วิธีการผสมผสานโดยทั้งชุบน้ำร้อนและฉายรังสี 20 กิโลแรด (kRAD) หรือ 75 กิโลแรด (Agrios, 2005; Frost, 2019; Adikaram, 2024)

3.4 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* (Plant Disease Caused by *Fusarium*)

เชื้อรา *Fusarium* เป็นสาเหตุโรคเหี่ยวในพืชผักหลายชนิด รวมทั้งไม้ดอกและพืชไร่ โดยจะพบในเขตร้อนและอบอุ่น โรคที่สำคัญได้แก่ โรคเหี่ยวของมะเขือเทศและกล้วย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดโรคกิ่งแห้งของทุเรียน (รัติยา, 2566; Agrios, 2005; Burchett and Burchett, 2018; Oliver, 2024) โดยเชื้อรา *Fusarium* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

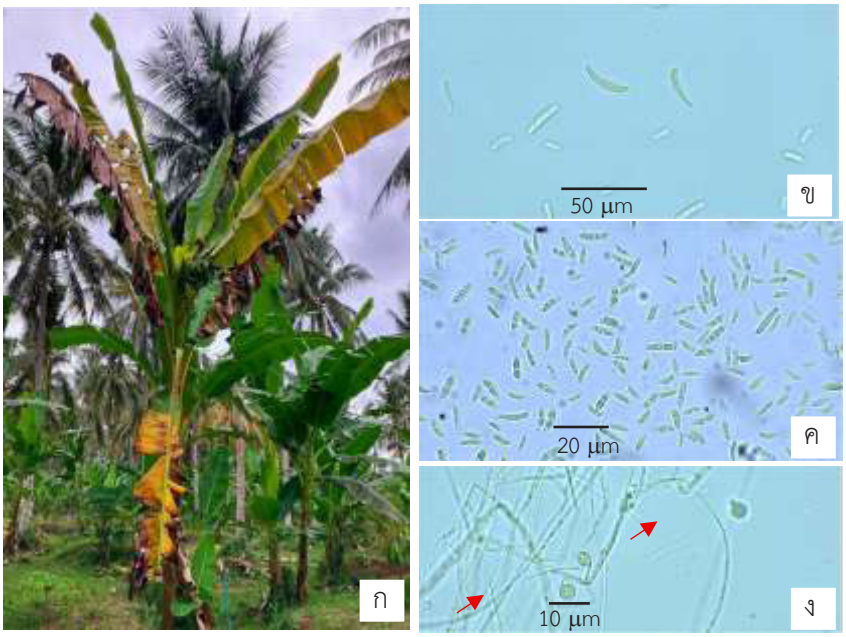
อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Sordariomycetes
อันดับ Hypocreales
วงศ์ Nectriaceae
สกุล *Fusarium*

3.4.1 โรคเหี่ยวของกล้วย (Banana Wilt)

โรคเหี่ยวของกล้วยเกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* พบครั้งแรกที่ประเทศออสเตรเลียในช่วงปลายปี ค.ศ. 1880s ต่อมาเริ่มแพร่ระบาดในช่วงปี ค.ศ. 1950s ในประเทศปานามา (Agrios, 2005; Frost, 2019; Oliver, 2024) ทำความเสียหายให้กับการผลิตกล้วยในแถบเขตอเมริกากลาง เชื้อราจะเข้าทำลายพืชผ่านทางรากเจริญเข้าสู่ลำต้นไปเจริญในท่อน้ำท่ออาหาร ทำให้อุดตันท่อน้ำท่ออาหาร ส่งผลให้ใบเหี่ยวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ต่อมาจะพบขีดสีน้ำตาลขนาดใหญ่ตามแนวเส้นใบของใบแก่และกาบใบ ต่อมาทุกใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ใบกล้วยจะเหี่ยวทั้งต้น (ภาพที่ 3.10ก) เมื่อตัดลำต้นตามขวางจะพบวงสีน้ำตาลอมแดง (Lal *et al*., 2024)

เชื้อสาเหตุโรคมีหลายสายพันธุ์ที่มีความรุนแรงแตกต่างกัน เชื้อสามารถสร้างสปอร์ได้ 3 แบบ ได้แก่ไมโครโคนิเดียม (microconidium) แมคโครโดนิเดียม

(macroconidium) และ คลาไมโดสปอร์ (ภาพที่ 3.10ข-ง) (Agrios, 2005; Frost, 2019; Kema, 2024) เชื้อสามารถอยู่ข้ามฤดูในต้นกล้วยที่เชื้อเข้าทำลาย ในรูปแบบคลาไมโดสปอร์ ซึ่งสามารถพักตัวในดินได้ไม่น้อยกว่า 20 ปี นอกจากนี้เชื้อสามารถแพร่กระจายได้โดยดิน น้ำ ติดไปกับเครื่องมือการเกษตร



ภาพที่ 3.10 โรคเหี่ยวตายพรายของกล้วยที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ที่แปลงปลูกตำบลบ้านบึง อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี

ก. ต้นกล้วยที่แสดงโรคเหี่ยวตายพราย

ข. แมคโครโดนิเดียของเชื้อราสาเหตุโรค *F. oxysporum* KUFA 0128

ค. ไมโครโคนิเดียของเชื้อราสาเหตุโรค *F. oxysporum* KUFA 0128

ง. คลาไมโดสปอร์ (ลูกศรสีแดง) ของเชื้อราสาเหตุโรค *F. oxysporum* KUFA 0128

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุม ถ้าพบต้นกล้วยเริ่มแสดงอาการของโรคให้โรยโคนต้นด้วยปูนขาว ถ้าพบต้นกล้วยเป็นโรครุนแรงให้ขุดต้นทิ้งและโรยดินด้วยปูนขาวเพื่อลดปริมาณเชื้อในดิน (Chomnunti and Churchill, 2011; Arie, 2019)

3.4.2 โรคกิ่งแห้งของทุเรียน (Dieback of Durian)

โรคกิ่งแห้งของทุเรียนเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Fusarium solani* การเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคจะทำให้กิ่งแห้ง ใบร่วง นับเป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อต้นทุเรียนเป็นอย่างมาก โดยจะพบการเข้าทำลายที่กิ่งทุเรียนได้ในแปลงตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงจะเป็นปัจจัยในการเกิดโรคได้มากยิ่งขึ้น

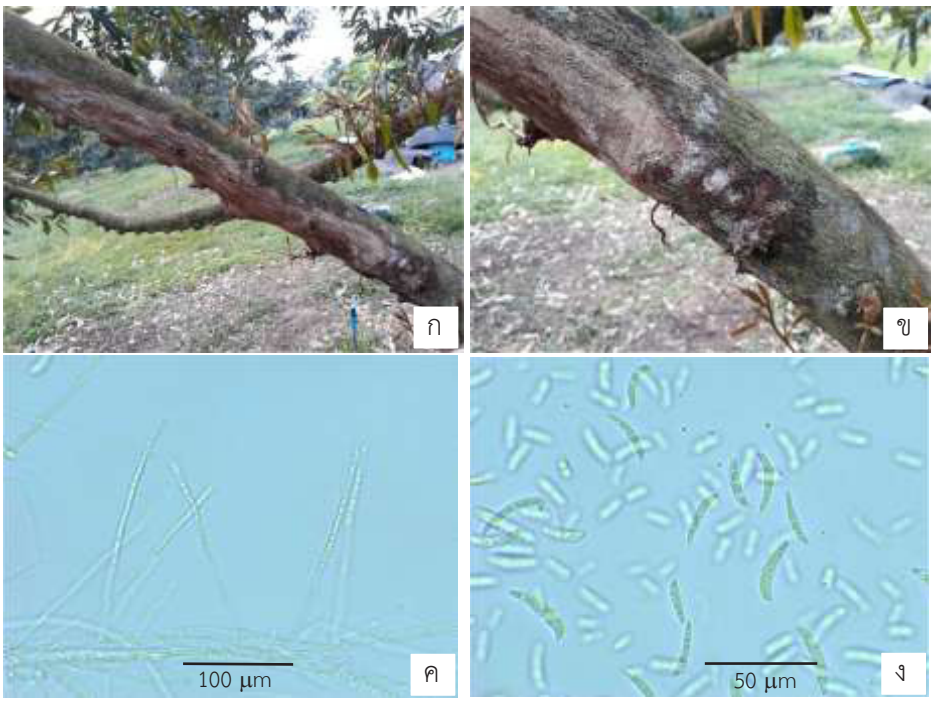
อาการ

เชื้อราจะเข้าทำลายเนื้อเยื่อด้านในกิ่ง ทำให้กิ่งแห้งแตกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ส่งผลให้กิ่งเปราะและหักง่าย ในสภาพอากาศชื้นจะพบเชื้อราเจริญฟูสีขาวอยู่ที่กิ่ง (ภาพที่ 3.11ก-ข) ใบที่อยู่ที่ปลายกิ่งที่เชื้อราเข้าทำลายจะแสดงอาการเหลือง ใบร่วง ถ้าเป็นมากจะทำให้ต้นโทรม นอกจากนี้มีรายงานว่าการเจาะกิ่งของมอดแอมโบรเซียจะทำให้เกิดบาดแผลที่กิ่งส่งผลให้เชื้อราเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น อาการของโรคจะมีความสัมพันธ์กับการเข้าทำลายของมอดเจาะกิ่งหรือลำต้นถ้ามีการเข้าทำลายของมอดมากจะทำให้การระบาดของโรคมีความรุนแรง (รัติยา, 2566)

การพัฒนาของโรค

เชื้อรา *F. solani* เป็นเชื้อราที่สามารถสร้างสปอร์สืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ (ภาพที่ 3.11ค-ง) ได้ตลอดทั้งปีและแพร่กระจายไปกับลม ฝน เมื่อเข้าทำลายกิ่งในเริ่มแรกจะพบแผลเป็นปื้นสีน้ำตาลที่กิ่งมีขอบแผลสีน้ำตาลเข้ม แผลจะขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เมื่อใช้มีดถากแผลออกจะพบอาการเนื้อเยื่อแห้งลึกเข้าไปกิ่ง เนื่องจากเชื้อราเข้าทำลายเนื้อเยื่อกิ่ง รวมทั้งท่อน้ำท่ออาหารทำให้ไม่สามารถส่งน้ำและสารอาหารไปปลายกิ่ง ทำให้ปลายกิ่งเริ่มแห้ง ที่ปลายกิ่งใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองซีดและหลุดร่วง นอกจากนี้เชื้อราสามารถเข้าทำลายยอดอ่อน และดอกอ่อน เมื่อความชื้นสูงจะพบเชื้อราเจริญที่ขอบแผลสร้างก้านชูสปอร์และสปอร์ เห็นเป็นปื้นสีขาวเจริญเป็นหย่อมๆ ตามขอบแผล (ภาพที่ 3.11ก-ข) จะเริ่มจาก

ด้านบนกิ่งแล้วลามขยายไปด้านข้างและใต้ท้องกิ่ง เมื่อเชื้อเจริญลุกลามรอบกิ่ง เปลือกนอกจะแห้งและร่อน เมื่อระบาดหนักทำให้ต้นทรุดโทรม และตายในที่สุด ซึ่งอาการจะแตกต่างจากการเข้าทำลายของเชื้อ *Phytophthora palmivora* ที่จะเข้าทำลายโคน รากและง่ามกิ่ง ก่อให้เกิดอาการเน่าฉ่ำน้ำ อย่างไรก็ตาม รัติยา (2566) รายงานว่าเชื้อรา *F. mangiferea* และ *F. incarnatum* สามารถก่อให้เกิดโรคได้เช่นกัน



ภาพที่ 3.11 อาการโรคกิ่งแห้งของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Fusarium solani* ที่แปลงปลูกตำบลบางสวรรค์ อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ก.-ข. อาการโรคกิ่งแห้งของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง
ค. ก้านชูสปอร์ของเชื้อรา *F. solani* KUFA 0112
ง. ไมโครโคนิเดียของเชื้อรา *F. solani* KUFA 0112
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุม

หมั่นสำรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในช่วงที่มีฝนตกชุก ควรตัดแต่งทรงพุ่มให้โปร่งไม่ให้รกทึบมีแสงแดดส่องได้ และตัดแต่งกิ่งที่เป็นโรคออกไปทำลายนอกแปลงปลูก ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาเพื่อกำจัดและควบคุมเชื้อราสาเหตุ ด้วยผงเชื้ออัตรา 1,000 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรทาบริเวณแผล กรณีโรคระบาดรุนแรง ให้ฉีดพ่นสารเคมี เช่น อะซอกซีสโตรบิน +ไดฟีโนโคนาโซล กรดฟอสฟอริก คาร์เบนดาซิม ไดฟีโนโคนาโซล คอปเปอร์ ไฮดรอกไซด์ (copper hydroxide) เฮกซะโคนาโซล (hexaconazole) ไฮเมกซาโซล (hymexazol) แมนโคเซบ +วาลิฟีนาเลท (mancozeb + valifenalate) หรือไพราโคลสโตรบิน (pyraclostrobin) เป็นต้น โดยใช้สารหมุนเวียนกันเพื่อลดการดื้อยาของเชื้อโรค รวมทั้งควบคุมมอดเจาะกิ่งหรือลำต้นโดยการใช้สารป้องกันกำจัดแมลง เช่น ฟิโพรนิล (fipronil) หรือคาร์บาริล (carbaryl) เป็นต้น (รัติยา, 2566; Ekwomadu and Mwanza, 2023)

3.5 โรคเมล็ดด่างของข้าว (Dirty panicle)

โรคเมล็ดด่างของข้าวเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราหลายชนิดได้แก่ *Curvularia lunata*, *Bipolaris oryzae*, *Alternaria padwickii*, *Fusarium incarnatum* และ *Sarocladium oryzae* (Dethoup *et al*., 2018) ก่อให้เกิดแผลจุดสีน้ำตาล หรือสีดำที่เมล็ด บางครั้งพบสีเทาปนชมพูบนเมล็ด

อาการ

พบอาการของโรคได้ตั้งแต่ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่จากกาบหุ้มรวงจนถึงระยะก่อนเก็บเกี่ยว จะพบแผลเป็นจุดสีน้ำตาลหรือสีดำที่เมล็ดข้าว (ภาพที่ 3.12ก) และบางครั้งอาจพบสีเทาปนชมพูบนเมล็ดข้าวและส่งผลให้เมล็ดลีบ เชื้อราสาเหตุของโรคสามารถสปอร์จำนวนมาก แพร่กระจายไปกับลม และติดไปกับเมล็ดพันธุ์ (ภาพที่ 3.12ข-ค)

การพัฒนาของโรค

การเข้าทำลายของเชื้อราส่วนใหญ่จะเข้าทำลายตั้งแต่รวงข้าวเริ่มโผล่จากกาบหุ้มรวงจนถึงระยะเมล็ดข้าวเริ่มเป็นน้ำนม และสามารถเข้าทำลายได้อย่างต่อเนื่องจนถึงระยะ

เก็บเกี่ยว อาการของโรคเมล็ดด่างจะปรากฏเด่นชัดในระยะใกล้เก็บเกี่ยว โดยพบแผลเป็นจุดสีน้ำตาลหรือสีดำที่เมล็ดข้าว เมล็ดข้าวด้านในเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อนำไปสีจะแตกหักง่าย เชื้อราสาเหตุโรคสร้างสปอร์สืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศได้ตลอดทั้งปีและแพร่กระจายไปกับลม ฝน และเมล็ด



ภาพที่ 3.12 อาการเมล็ดข้าวที่เป็นโรคเมล็ดด่างและเชื้อราสาเหตุโรคจากแปลงปลูกข้าวกข43 ตำบลเสนา อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ก. อาการของโรคเมล็ดด่างในข้าว
ข. ก้านชูสปอร์และสปอร์ของ *Curvularia lunata* KUFA 0157
ค. ก้านชูสปอร์และสปอร์ของ *Fusarium incarnatum* KUFA 0158
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุม

ควรใช้เมล็ดพันธุ์ปลอดโรค หลีกเลี่ยงพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อโรค เช่น สุพรรณบุรี 60 สุพรรณบุรี 90 เป็นต้น หรือถ้าปลูกข้าวพันธุ์อ่อนแอ ควรหมั่นสำรวจแปลง และเฝ้าระวังการเกิดโรค สามารถป้องกันการเกิดโรคโดยแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวก่อนปลูกในเชื้อไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 200 ลิตร ต่อเมล็ดพันธุ์ข้าว 100 กิโลกรัม หรือฉีดพ่นในอัตรา 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 200 ลิตร หรือคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสารป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น แมนโคเซบ คาร์เบนดาซิม ในอัตรา 3 กรัมต่อเมล็ดพันธุ์ข้าว 1 กิโลกรัม ก่อนนำไปปลูกได้เช่นกัน และในระยะที่

ข้าวตั้งท้องใกล้ออกรวง หากมีฝนตกชุก ควรป้องกันการเกิดโรคโดยพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น ไดฟีโนโคนาโซล+โพรพิโคนาโซล โพรพิโคนาโซล+ไพรคอลราช หรือ คาร์เบนดาซิม ในอัตราส่วนและวิธีการใช้ตามคำแนะนำในฉลากบนบรรจุภัณฑ์ (ธิดา, 2559)

3.6 โรคดอกกระถินของข้าว (Rice False Smut)

โรคดอกกระถินของข้าวเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ustilaginoidea virens* แต่เดิมนับว่าเป็นโรคที่ไม่ก่อความเสียหายรุนแรง แต่ในปัจจุบันนับว่าเป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตในหลายประเทศที่ปลูกข้าว โดยเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ (Sun *et al*., 2020) เชื้อรา *U. virens* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Fungi
ไฟลัม	Ascomycota
ชั้น	Sordariomycetes
อันดับ	Hypocreales
วงศ์	Clavicipitaceae
สกุล	*Ustilaginoidea*
ชนิด	*virens*

อาการ

แอสโคสปอร์หรือโคนิเดียของเชื้อราสาเหตุโรคจะเข้าทำลายดอกข้าว โดยงอกและเจริญเป็นเส้นใยเข้าไปด้านในส่วนต่างๆ ของดอกข้าว เจริญเติบโตพร้อมกับการเจริญของเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดข้าวพองบวมขึ้นจนมีรูปร่างกลมเรียกว่าลูกบอลราเขม่า (false smut ball) ภายในมีคลาไมโดสปอร์ที่พัฒนามาจากเส้นใยลักษณะเป็นผงแป้งจำนวนมากคลาไมโดสปอร์ของเชื้อรานี้เริ่มแรกจะมีสีเหลืองอมส้มต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมดำ (ภาพที่ 3.13) (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024) ซึ่งมีลักษณะคล้ายโรคราเขม่า (smut) ที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota ที่สร้างเทลิโอสปอร์สีน้ำตาลดำจำนวนมากในเมล็ดพืชอาศัยได้เช่นเดียวกัน แต่เชื้อราเหตุโรคดอกกระถินสร้างคลาไมโดสปอร์จึงเรียกโรคนี้ว่าโรคคล้ายราเขม่าหรือราเขม่าเทียม (false smut) คลาไมโดสปอร์สามารถงอกเจริญเป็นเส้นใยและสร้างโคนิเดียเข้าทำลายข้าวต่อไป

นอกจากนี้เชื้อยังสามารถสร้างเม็ดสเคลอโรเตียม ถ้ามีอุณหภูมิที่แตกต่างกันมาก ระหว่างกลางวันและกลางคืน ซึ่งการเข้าทำลายของเชื้อนอกจากทำให้เมล็ดข้าวเป็นโรค แล้วจะทำให้เมล็ดข้าวอื่นๆ ในรวงลีบ ทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิต นอกจากนี้เชื้อยัง สามารถสร้างสารพิษที่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์ (Oliver, 2024; Ray, 2024; Spanu *et al*., 2024)



ภาพที่ 3.13 อาการโรคดอกกระถินของข้าวกข95 ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ustilaginoidea virens* (ก.-ข.) จากแปลงปลูก ตำบลพานทอง อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

เริ่มแรกเส้นใยของเชื้อรา *U. virens* ที่เจริญมาจากแอสโคสปอร์หรือโคนิเดียจะเจริญคลุมทั่วภายนอกดอกข้าว จากนั้นจะเจริญเข้าด้านในตามช่องว่างระหว่าง กลีบดอกชั้นนอก (lemma) และกลีบเลี้ยงชั้นใน (palea) ต่อมาเส้นใยเชื้อราจะเจริญไปยังส่วนอื่นของดอกข้าวจนถึงรังไข่ (Sun *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020) เมื่อเจริญเต็มที่เชื้อราจะสร้างคลาไมโดสปอร์โดยพัฒนาจากเส้นใยในเมล็ดข้าวจำนวนมากจนเป็นลูกบอลราเขม่าที่เต็มไปด้วยคลาไมโดสปอร์ที่มีรูปร่างกลมหรือกลมรี มีหนามเล็กน้อยที่ผิว นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรายังสามารถเข้าทำลายในส่วนต่างๆ ของข้าวทั้งรากและยอดอ่อน แต่ไม่เข้า

ทำลายส่วนลำต้นโดยตรง เส้นใยของเชื้อจะสามารถเจริญที่ผิวด้านนอกของต้น เจริญเข้าไปด้านในของกาบใบและเจริญไปพร้อมกับการเจริญของรวงข้าวโดยยังไม่แสดงอาการและเข้าทำลายดอกต่อไป คลาไมโดสปอร์สามารถงอกและสร้างโคนิเดียจำนวนมากเพื่อเข้าทำลายพืชซ้ำในแปลงปลูกหรือแปลงข้างเคียงและสามารถติดไปกับเมล็ดพันธุ์ (Oliver, 2024; Ray, 2024; Spanu *et al*., 2024)

เชื้อรา *U. virens* สร้างเส้นใยหลายแบบที่เรียกว่า heterothallic form และมีการสืบพันธุ์แบบใช้เพศโดยมีรูปแบบการผสมพันธุ์ (mating compatibility) เป็นแบบ locus MAT1-1 หรือ MAT1-2 โดยเชื้อราจะสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมบนผิวของลูกบอลราเขม่าในช่วงปลายฤดูใบไม้ผลิหรือช่วงฤดูหนาว (Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024; Ray, 2024; Spanu *et al*., 2024) ต่อมาเม็ดสเคลอโรเตียมจะงอกเป็นเส้นใยพัฒนาสร้างเพอริทีเซียมลักษณะคล้ายดอกเห็ด ภายในเพอริทีเซียมเป็นที่เกิดของแอสคัสและแอสโคสปอร์ ซึ่งแอสโคสปอร์นี้จะใช้อยู่ข้ามฤดูและสามารถงอกสร้างโคนิเดียเพื่อเข้าทำลายข้าวในฤดูปลูกถัดไป (Sun *et al*., 2020; Tronsmo *et al*., 2020) นอกจากนี้เชื้อยังสามารถเข้าทำลายพืชอาศัยชนิดอื่น เช่นหญ้า *Digitaria marginata*, *Panicum trypheron*, *Echinochola crusgalli* และ *Imperata cylindria* (Agrios, 2005; Oliver, 2024; Ray, 2024; Spanu *et al*., 2024)

การควบคุม

สามารถปลูกข้าวพันธุ์ต้านทานหรือฉีดพ่นสารโพรพิโคนาโซล อะซอกซีสโตรบิน ไดฟีโนโคนาโซล คอปเปอร์ ออกซีคลอไรด์หรือฉีดพ่นสารผสมอะซอกซีสโตรบิน+ไดฟีโนโคนาโซล สามารถลดการเกิดโรคได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ควรฉีดพ่นสารในช่วงออกรวงหรือฉีดพ่นชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis*, *Trichoderma viride*, *T. harzianum*, *T. koningii* และ *Antennariella placitae* หรือ *Bacillus subtilis* Bs-916 (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Sun *et al*., 2020; Oliver, 2024)

นอกจากนี้ควรใช้วิธีเขตกรรมร่วมด้วยโดยการไม่ปลูกข้าวให้หนาแน่นเกินไปหรือใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปเพื่อเพิ่มการระบายอากาศและลดความชื้นในแปลงปลูก กำจัดหญ้าบริเวณรอบๆ แปลงหรือปลูกพืชหมุนเวียนก็สามารถลดความรุนแรงของโรคในแปลงปลูก (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024)

3.7 บทสรุป

เชื้อราในไฟลัม Ascomycota จะมีการสร้างสปอร์แบบสืบพันธุ์แบบใช้เพศที่เรียกว่าแอสโคสปอร์ภายในถุงที่เรียกว่าแอสคัสจากการผสมพันธุ์ระหว่างเซลล์เพศเมียที่เรียกว่าแอสโคโกเนียมและเซลล์เพศผู้ที่เรียกว่าแอนเทอริเดียมหรือเซลล์เพศผู้ขนาดเล็กเรียกว่าสเปอมาเทียมเพื่อแพร่กระจายและอยู่ข้ามฤดู รวมทั้งสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศที่เรียกว่าสปอร์หรือโคนิเดียจากทั้งก้านชูสปอร์หรือในโครงสร้างที่สร้างสปอร์

เชื้อราสาเหตุโรคพืชที่อยู่ในไฟลัม Ascomycota ในระหว่างการเจริญและเข้าทำลายพืชจะสร้างแต่การสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ เช่น สปอร์หรือโคนิเดียและสร้างการสืบพันธุ์แบบใช้เพศในช่วงพืชใกล้ตายหรือใช้อยู่ข้ามฤดูและเข้าทำลายพืชในช่วงต้นฤดูปลูก โรคที่สำคัญได้แก่โรคราแป้งจัดเป็นโรคพืชที่พบได้ทั่วไป แพร่กระจายได้ง่าย สามารถเข้าทำลายพืชได้หลายชนิด โดยจะพบอาการเป็นจุดหรือกลุ่มของเส้นใยสีขาวหรือสีเทาอ่อนลักษณะคล้ายผงแป้งบนใบพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืช ต่อมาจะพบการแพร่กระจายของเชื้อราปกคลุมไปยังส่วนต่างๆ ที่ยอด และช่อดอก เชื้อราสร้างโครงสร้างเพื่อใช้ในการสร้างสปอร์ในการสืบพันธุ์แบบใช้เพศเพื่ออยู่ข้ามฤดูที่เรียกว่าคริสโตทีเซียม

โรคทางใบที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Ascomycota นับว่าเป็นโรคที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชจำนวนมาก เช่น โรคราดำที่เกิดจากเชื้อรา *Cladosporium* spp. หรือ *Capnodium* spp. โดยเชื้อจะสร้างเส้นใยสีดำเจริญเคลือบบนผิวใบ ลักษณะเป็นแผ่นสีดำเป็นปื้นเคลือบบนผิวใบ ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช โรคที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Alternaria* spp. โดยเชื้อจะเข้าทำลายใบ ลำต้น ดอกและผลของไม้ผล พืชผัก ไม้ดอก เป็นต้น การเข้าทำลายอย่างต่อเนื่องจะส่งผลต่อผลผลิต โรคใบจุดดำสิกะตองกา ในกล้วยพบได้ทั่วโลกเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา

Pseudocercospora musae ซึ่งนับเป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับการผลิตกล้วย โรคนี้จะเข้าทำลายใบกล้วยส่งผลให้ใบไหม้ เหี่ยวและแห้งตาย

โรคใบไหม้ในข้าวโพดจะมีสองโรคที่สำคัญได้แก่โรคใบไหม้แผลเล็กเกิดจากเชื้อรา *Bipolaris maydis* ก่อให้เกิดแผลจุดขนาดเล็กสีเทาบนใบจำนวนมาก และโรคใบไหม้แผลใหญ่เกิดจากเชื้อรา *Exserohilum turcicum* ที่ก่อให้เกิดโรคใบไหม้แผลใหญ่ โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris oryzae* ก่อให้เกิดโรคใบจุดได้ที่ใบ รวง กาบใบ เมล็ด แผลจุดจะมีสีเทาตรงกลางและมีสีน้ำตาลล้อมรอบแผล การเข้าทำลายที่ใบจะทำให้ข้าวสูญเสียพื้นที่สังเคราะห์แสงส่งผลให้ต้นแคระแกรน ฝักและเมล็ดไม่สมบูรณ์ และโรคไหม้ข้าวที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* พบได้ในทุกประเทศที่ปลูกข้าวและนับเป็นโรคที่สำคัญที่สุดของข้าว สามารถส่งผลให้สูญสียผลผลิตได้สูงถึง 50-90 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราสาเหตุโรคสามารถเข้าทำลายต้นข้าวได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว

โรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum* สามารถเข้าทำลายพืชได้ทั้งที่ใบ ลำต้น ผล โดยจะพบจุดสีดำหรือจุดฉ่ำน้ำขอบแผลยกตัวสูงขึ้น ขณะที่กลางแผลยุบตัวลงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ หรือทำให้เกิดอาการเน่าดำที่กิ่งก้าน การเข้าทำลายที่ผลส่วนใหญ่เชื้อจะเข้าทำลายตั้งแต่ระยะดอกหรือผลอ่อน จากนั้นจะเจริญอาศัยแบบแฝงตัวไม่แสดงอาการแต่จะแสดงอาการเมื่อผลแก่หรือสุกทำให้เกิดแผลจุดดำฉ่ำน้ำทั่วผล ภายใต้สภาวะชื้นที่กลางแผลจะพบโครงสร้างที่ใช้สำหรับสร้างสปอร์แบบไม่ใช้เพศเรียกว่าอะเซอวูรัส ซึ่งเป็นที่เกิดของกลุ่มสปอร์สีชมพูอมส้ม เช่น โรคแอนแทรคโนสของมะม่วงที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *C. gloeosporioides*

เชื้อรา *Fusarium* เป็นสาเหตุโรคเหี่ยวในพืชผักหลายชนิด รวมทั้งไม้ดอก พืชไร่ โดยจะพบในเขตร้อนและอบอุ่น โรคที่สำคัญได้แก่ โรคเหี่ยวของมะเขือเทศและกล้วย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดโรคกิ่งแห้งของทุเรียน โรคเมล็ดด่างของข้าวที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราหลายชนิดได้แก่ *Curvularia lunata*, *Bipolaris oryzae*, *Alternaria padwickii*, *Fusarium incarnatum* และ *Sarocladium oryzae* ก่อให้เกิดแผลจุดสีน้ำตาล หรือสีดำที่เมล็ด บางครั้งพบสีเทาปนชมพูบนเมล็ด การเข้าทำลายของเชื้อราส่วน

ใหญ่จะเกิดในช่วงรวงข้าวเริ่มโผล่จากกาบหุ้มรวงจนถึงระยะเมล็ดข้าวเริ่มเป็นน้ำนม อาการเมล็ดด่างจะปรากฏเด่นชัดในระยะใกล้เก็บเกี่ยว และโรคดอกกระถินของข้าวที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ustilaginoidea virens* ที่ดอกข้าวโดยตรง โดยเส้นใยของเชื้อราจะเจริญเข้าไปด้านในส่วนต่างๆ ของดอกข้าว เจริญพร้อมกับการเจริญของเมล็ดข้าว พัฒนาเป็นคลาไมโดสปอร์ลักษณะเป็นผงแป้งจำนวนมากภายในเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวบวมพองขึ้นจนมีรูปร่างกลมเรียกว่าลูกบอลราเขม่า การควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคในไฟลัมนี้สามารถใช้วิธีการเขตกรรมและการฉีดพ่นสารเคมี

3.8 เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. โรค-แมลงศัตรูข้าวและการป้องกันกำจัด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 56 หน้า.

ธิดา เดชฮวบ. 2559. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช. บริษัท เอเชีย ดิจิทัล การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 195 หน้า.

รัติยา พงศ์พิสุทธา. 2566. เชื้อราอุบัติใหม่ในไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญ. เพชรเกษมการพิมพ์, จังหวัดนครปฐม. 285 หน้า.

Adikaram, N. 2024. Diseases of major tropical and subtropical fruit plants. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 807-821.

Agrios, G. 2005. Plant Pathology. 5th ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922 p.

Ali, S., Tyagi, A., Rajarammohan, S., Mir, Z.A. and Bae, H. 2023. Revisiting Alternaria-host interactions: new insights on its pathogenesis, defense mechanisms and control strategies. Scientia Horticulturae 322: 112424.

Arie, T. 2019. Fusarium diseases of cultivated plants, control, diagnosis, and molecular and genetic studies. Journal of Pesticide Science 44(4): 275–281.

Bao, Y., Zhang, X., Sun, X., Bao, M. and Wang, Y. 2022. Morphological and Molecular Analyses of the Interaction between *Rosa multiflora* and *Podosphaera pannosa*. Genes 13: 1003.

Barnwal, M.K., Kotasthane, A., Magculia, N., Mukherjee, P.K., Savary, S., Sharma, A.K., Singh, H.B., Singh, U.S., Sparks, A.H., Variar, M. and Zaidi, N. 2013. A review on crop losses,

epidemiology and disease management of rice brown spot to identify research priorities and knowledge gaps. European Journal of Plant Pathology 136: 443–457.

Berger, D.K. 2024. Diseases of maize/corn. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 739–745.

Burchett, S. and Burchett, S. 2018. Plant Pathology. New York : Garland Science, Taylor & Francis Group. 144 p.

Chomnunti, P. and Churchill, AC. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. Molecular Plant Pathology 12(4): 307–328.

Chomnunti, P., Hongsanan, S., Aguirre-Hudson, B., Tian, Q., Peršoh, D., Dhami, M.K., Alias, A.S., Xu, J., Liu, X., Stadler, M. and Hyde, K.D. 2014. The sooty moulds. Fungal Diversity 66: 1–36.

Da Silva, L.L., Moreno, H.L.A., Correia, H.L.N., Santana, M.F. and de Queiroz, M.V. 2020. *Colletotrichum*: species complexes, lifestyle, and peculiarities of some sources of genetic variability. Applied Microbiology and Biotechnology 104: 1891–1904.

Dethoup, T., Kaewsalong, N., Songkumorn, P. and Jantasorn, A. 2018. Potential of a marine-derived species, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. Biological Control 119: 1–6.

De Silva, D.D., Crous, P.W., Ades, P.K., Hyde, K.D. and Taylor P.W.J. 2017. Life styles of *Colletotrichum* species and implications for plant biosecurity. Fungal Biology Reviews 31(3): 155–168.

De Silva, D.D., Groenewald, J.Z., Crous, P.W., Ades, P.K., Nasruddin, A., Mongkolporn, O. and Taylor, P.W.J. 2019. Identification, prevalence and pathogenicity of *Colletotrichum* species causing anthracnose of *Capsicum annuum* in Asia. IMA Fungus 10: 8.

Ebbole, D. 2024. Rice. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 767–771.

Ekwomadu, T.I. and Mwanza, M. 2023. Fusarium fungi pathogens, identification, adverse effects, disease management, and global food security: a review of the latest research. Agriculture 13: 1810.

Frost, C. 2019. Plant Pathology: An Integrated Study. Syrawood Publishing House. 233 p.

Gaba, S., Varma, A. and Goel, A. 2022. Protective and curative activity of biogenic copper oxide nanoparticles against Alternaria blight disease in oilseed crops: a review. Journal of Plant Diseases and Protection 129: 215–229.

Ismaila, A.A., Ahmad, K., Siddique, Y., Wahab, M.A.A., Kutawa, A.B., Abdullahi, A., Zobir, S.A.M., Abdu, A. and Abdullah, S.N.A. 2023. Fusarium wilt of banana: current update and sustainable disease control using classical and essential oils approaches. Horticultural Plant Journal 9(1): 1–28.

Kema, G.H.J. 2024. Banana. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 673–678.

Kongcharoen, N., Kaewsalong, N. and Dethoup, T. 2020. Efficacy of fungicides in controlling rice blast and dirty panicle diseases in Thailand. Scientific Reports 10(1): 16233.

Kumar, V. and Chandel, S. 2018. Management of rose powdery mildew (*Podosphaera pannosa*) through ecofriendly approaches. Indian Phytopathology 71: 393–397.

Kunova, A., Pizzatti, C., Saracchi, M., Pasquali, M. and Cortesi, P. 2021. Grapevine powdery mildew: fungicides for its management and advances in molecular detection of markers associated with resistance. Microorganisms 9(7): 1541.

Lal, D., Dev, D., Kumari, S., Pandey, S., Aparna, Sharma, N., Nandni, S., Jha, R.K. and Singh, A. 2024. Fusarium wilt pandemic: current understanding and molecular perspectives. Functional and Integrative Genomics 24: 41.

Mehl, H.L. 2024. Sorghum. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 781–786.

Miah, G., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Puteh, A.B., Rahim, H.A., Asfaliza, R. and Latif, M.A. 2013. Blast resistance in rice: a review of conventional breeding to molecular approaches. Molecular Biology Reports 40(3): 2369–2388.

Nasir, M., Mughal, S.M., Mukhtar, T. and Awan, M.Z. 2014. Powdery mildew of mango: A review of ecology, biology, epidemiology and management. Crop Protection 64: 19–26.

Oliver, R.P. 2024. Classification of phytopathogens and diseases. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 333–338.

Palei, S., Behera, S.K. and Sethy, P.K. 2023. A systematic review of citrus disease perceptions and fruit grading using machine vision. Procedia Computer Science 218: 2504–2519.

Prechsl, U.E., Rizzoli, W., Marschall, K. and Wubs, E.R. 2023. Fungicide-free management of Alternaria leaf blotch and fruit spot on apple indicates *Alternaria* spp. as secondary colonizer. Scientific Reports 13: 8431.

Qiu, W., Feechan, A. and Dry, I. 2015. Current understanding of grapevine defense mechanisms against the biotrophic fungus (*Erysiphe necator*), the causal agent of powdery mildew disease. Horticulture Research 2: 15020.

Ray, R.V. 2024. Effects of pathogens and disease on plant physiology. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 63–91.

Seekham, N., Kaewsalong, N., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2024. Field biocontrol efficacy of *Trichoderma* spp. in fresh and dry formulations against rice blast and brown spot diseases and yield effect. European Journal of Plant Pathology 170(1): 1–13.

Skamnioti, P. and Gurr, S.J. 2009. Against the grain: safeguarding rice from rice blast disease. Trends in Biotechnology 27(3): 141–150.

Spanu, P., Pietro, A.D. and Oliver, R.P. 2024. Pathogenicity—How do plant pathogens cause disease? In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 93–130.

Sun, W., Fan, J., Fang, A., Li, Y., Tariqjaveed, M., Li, D., Hu, D. and Wang, W-M. 2020. *Ustilaginoidea virens*: insights into an emerging rice pathogen. Annual Review of Phytopathology 58: 363–385.

Tronsmo, A.M., Collinge, D.B., Djurle, A., Munk, L., Yuen, J. and Tronsmo, A. 2020. Plant Pathology and Plant Diseases. CABI. 461 p.

Turland, N.J., Wiersema, J.H., Barrie, F.R., Greuter, W., Hawksworth, D.L., Herendeen, P.S., Knapp, S., Kusber, W.-H., Li, D.-Z., Marhold, K., May, T. W., McNeill, J., Monro, A. M., Prado, J., Price, M. J. and Smith, G.F. (eds.). 2018. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. Regnum Vegetabile 159. Glashütten: Koeltz Botanical Books.

Valent, B. 2021. The impact of blast disease: past, present, and future. Methods in Molecular Biology 2356: 1–18.

Wang, F., Wang, K., Cai, L., Zhao, M., Kirk, P.M., Fan, G., Sun, Q., Li, B., Wang, S., Yu, Z., Han, D., Ma, J., Wu, L. and Yao, Y. 2023. Fungal names: a comprehensive nomenclatural repository and knowledge base for fungal taxonomy, Nucleic Acids Research 51: D708–D716.

Zakaria, L. 2021. Diversity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease in tropical fruit crops-a review. Agriculture 11: 297.

บทที่ 4
โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota
(Plant Disease Caused by Fungi in Phylum Basidiomycota)

เชื้อราในไฟลัม Basidiomycota สามารถสร้างสปอร์ได้หลายแบบ มีการดำรงชีวิตทั้งแบบย่อยสลายเศษซากพืชหรือท่อนไม้ และเข้าทำลายพืชก่อให้เกิดโรครากและลำต้นเน่า นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุโรคราสนิมและราเขม่าดำของพืชหลายชนิด เชื้อราในกลุ่มนี้ยังรวมถึงเชื้อราในกลุ่มเห็ดที่มีการสร้างดอกเห็ด (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024) โรคที่สำคัญของเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota ได้แก่

4.1 โรคราสนิม (Rust)

เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมจัดเป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ โดยเชื้อสามารถเข้าทำลายพืชหลายชนิดทั้งพืชอาหารหลักได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ พืชผักเช่น ถั่ว หน่อไม้ฝรั่งและพืชยืนต้น เช่น แอปเปิลและกาแฟ (Hovmøller *et al*., 2023) เชื้อราเข้าทำลายได้ทั้งใบและลำต้น โดยจะก่อให้เกิดอาการแผลสีสนิม เหลือง ส้ม หรือสีขาวในเซลล์อิพิเดอร์มิสหรือสร้างปมในช่อดอกของพืช ปัจจุบันมีรายงานโรคราสนิมมากกว่า 5,000 ชนิด โดยเชื้อรา *Puccinia* spp. เป็นสาเหตุโรคราสนิมมากที่สุด (Agrios, 2005) สามารถเข้าทำลายธัญพืชหลายชนิดรวมทั้งข้าวโพดและอ้อย โดยเชื้อจะเข้าทำลายใบ กาบใบ ต้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตไม่เต็มที่ เมล็ดจะมีขนาดเล็กลง ผลผลิตลดลง เนื่องจากต้นพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง มีการเพิ่มการหายใจ (Lata *et al*., 2023; Spanu *et al*., 2024) โรคราสนิมที่สำคัญได้แก่

P. graminis สาเหตุโรคราสนิมของข้าวสาลี

P. sorghi และ *P. polysora* สาเหตุโรคราสนิมของข้าวโพด

P. sacchari และ *P. melanocephala* สาเหตุโรคราสนิมของอ้อย

P. chrysanthemi โรคราสนิมของเบญมาศ

นอกจากนี้ยังพบเชื้อราสนิมสกุลอื่นที่พบในประเทศไทยได้แก่ *Coleosporium plumeriae* สาเหตุโรคราสนิมของลีลาวดี *Hemileia vastatrix* สาเหตุโรคราสนิมของกาแฟและ *Uromyces appendiculatus* สาเหตุโรคราสนิมของถั่วลิสง เป็นต้น

เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมส่วนใหญ่เป็นเชื้อราสาเหตุโรคแบบปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต โดยสามารถเจริญในพืชอาศัยที่มีชีวิตเท่านั้นและมีความจำเพาะเจาะจงกับพืชอาศัย สามารถระบุได้ด้วย formae specialis เช่น *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* สาเหตุโรคราสนิมของข้าวสาลีและ *P. graminis* f.sp. *hordei* สาเหตุโรคราสนิมของข้าวบาร์เลย์ (Zheng *et al*., 2013; Shilpa *et al*., 2022; Wang *et al*., 2023)

เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมทุกชนิดจะสร้างสปอร์แบบยูรีโดสปอร์ (uredospore) และเบซิดิโอสปอร์ (basidiospore) เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมที่สร้างสปอร์ได้เพียง 2 ระยะแบบยูรีโดสปอร์และเบซิดิโอสปอร์จะมีวัฏจักรชีวิตแบบสั้นเรียกว่า microcylic rust เช่น เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมในหน่อไม้ฝรั่ง ลีลาวดี ขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมบางชนิดสามารถสร้างสปอร์ได้ถึง 5 ระยะ ได้แก่ยูรีโดสปอร์ เบซิดิโอสปอร์ สเปอร์มาเทียม (spermatium) หรือ พิคนิโอสปอร์ (pycniospore) เอซิโอสปอร์ (aeciospore) และเทลิโอสปอร์ จะมีวัฏจักรชีวิตใหญ่หรือ macrocyclic rust เช่น เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมของข้าวสาลี เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมบางชนิดสามารถเข้าทำลายพืชมากกว่า 1 ชนิด โดยมีพืชอาศัยหลักและพืชอาศัยสลับ (alternate host) เพื่อเจริญครบวัฏจักรเรียกว่า heteroecious rust ขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมที่เจริญครบวัฏจักรในพืชอาศัยชนิดเดียวเรียกว่า autoecious rust (Agrios, 2005; Oliver, 2024)

เชื้อรา *P. graminis* สาเหตุโรคราสนิมของข้าวสาลี จะสร้างสปอร์ทั้ง 5 ระยะโดยสปอร์แบบเบซิดิโอสปอร์ เอซิโอสปอร์ และยูรีโดสปอร์ สามารถเข้าทำลายพืชอาศัยได้ ส่วนเทลิโอสปอร์จะทำหน้าที่เป็นสปอร์เพื่อใช้อยู่ข้ามฤดู เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะงอกออกมาและสร้างเบซิเดียม (basidium) รูปร่างคล้ายกระบองเพื่อผลิตสปอร์แบบเบซิดิโอสปอร์ซึ่งจะงอกเพื่อเข้าทำลายพืชอาศัยสลับคือใบเบอเบอรี่ (Tronsmo *et al*., 2020; Wang *et al*., 2023; Oliver, 2024) เมื่อเข้าทำลายพืชแล้วจะสร้างเส้นใยที่แต่ละเซลล์มีนิวเคลียสแบบแฮพลอยด์ นิวเคลียสเพื่อสร้างสเปอร์มาโกเนียม (spermagonium) ที่ผิวใบเบอเบอรี่ เป็นโครงสร้างสำหรับสร้างสปอร์ที่เรียกว่าสเปอร์มาเทียมและเส้นใยที่รับสปอร์มาเทียม (receptive hyphae) โดยสเปอร์มาเทียมจะทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) และไม่สามารถเข้าทำลายพืชได้ แต่สามารถผสมพันธุ์กับสเปอร์มาเทียมที่มาจากแหล่งอื่นที่มีการสืบพันธุ์ (mating type) ที่เข้ากันได้เพื่อสร้างเส้นใยที่มี 2 นิวเคลียส (dikaryotic

mycelium (N+N)) และพัฒนาเป็นสปอร์ที่มี 2 นิวเคลียส (dikaryotic spore (N+N)) ซึ่งเมื่อมีการผสมพันธุ์เส้นใยที่มี 2 นิวเคลียสจะสร้างโครงสร้างที่เรียกว่าเอเซียม (aecium) ที่ใต้ใบเบอเบอรี่เป็นที่ผลิตเอซิโอสปอร์ เอซิโอสปอร์จะแพร่กระจายเข้าทำลายต้นข้าวสาลี แล้วเชื้อจะสร้างสปอร์ยูรีโดสปอร์ในโครงสร้างที่เรียกว่ายูรีเดียม (uredium) ซึ่งเชื้อราสามารถผลิตยูรีโดสปอร์หลายครั้งและเข้าทำลายพืชซ้ำๆ จนพืชโทรมหรือแก่ จากนั้นเชื้อจะสร้างเทลิโอสปอร์ในโครงสร้างที่เรียกว่าเทเลียม (telium) เพื่ออยู่ข้ามฤดู (Tronsmo *et al*., 2020; Shilpa *et al*., 2023; Oliver, 2024) เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมสามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลม แมลง ฝน และสัตว์ โดยเฉพาะสปอร์แบบยูรีโดสปอร์สามารถปลิวได้ไกลโดยลม (Hovmøller *et al*., 2023)

การควบคุมโรคราสนิมเช่นในธัญพืช สามารถปลูกพันธุ์ต้านทาน กำจัดพืชอาศัยสลับ ส่วนในผัก ไม้ดอก และไม้ผลควรฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคราสนิม ได้แก่ไตรอะดิมีฟอน (triadimefon) ไตรอะริฟอน (triarimol) และฟีนาพานิล (fenapanil) สามารถใช้ทั้งฉีดพ่น คลุกเมล็ด ราดดิน เป็นต้น (Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024)

4.1.1 โรคราสนิมของข้าวโพด (Corn Rust)

โรคราสนิมของข้าวโพดพบได้ทั่วโลกที่ปลูกข้าวโพดในประเทศไทยมีรายงานพบ 2 ชนิด คือ *P. sorghi* และ *P. polysora* ซึ่งเชื้อสามารถเข้าทำลายได้ทุกส่วนของพืชเหนือดิน (Del Ponte and Mizubuti, 2024) ถ้าเข้าทำลายรุนแรงต้นจะโทรม ส่งผลต่อผลผลิตข้าวโพด (Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024) มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Fungi
ไฟลัม	Basidiomycota
ชั้น	Pucciniomycetes
อันดับ	Pucciniales
วงศ์	Pucciniaceae
สกุล	*Puccinia*
ชนิด	*sorghi*
	polysora

อาการ

เชื้อราสาเหตุโรคจะเข้าทำลายลำต้น ใบและกาบใบข้าวโพด โดยจะพบจุดขนาดเล็กหัวท้ายแหลมเรียกว่าพัสทูล (pustule) หรือยูรีเดียมซึ่งเป็นที่เกิดยูรีโดสปอร์โดยจะเกิดขนานกับลำต้นและเส้นใบ (ภาพที่ 4.1) โดยเชื้อจะสร้างโครงสร้างนี้ใต้เซลล์อิพิเดอร์มิสของพืช เมื่อแก่จะดันเซลล์อิพิเดอร์มิสให้แตกแล้วปลดปล่อยยูรีโดสปอร์สีแดงอิฐออกมา ขนาดของยูรีเดียมมีขนาดกว้าง 1-3 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร โดยพบกระจายทั่วใบและลำต้น เมื่อต้นแก่ ยูรีเดียมจะเปลี่ยนเป็นสีดำเนื่องจากราสร้างเทลิโอสปอร์แทนที่ยูรีโดสปอร์ บางครั้งเทเลียม อาจเกิดแยกจากยูรีเดียม (Lata *et al*., 2023; Wang *et al*., 2023; Oliver, 2024)

การพัฒนาของโรค

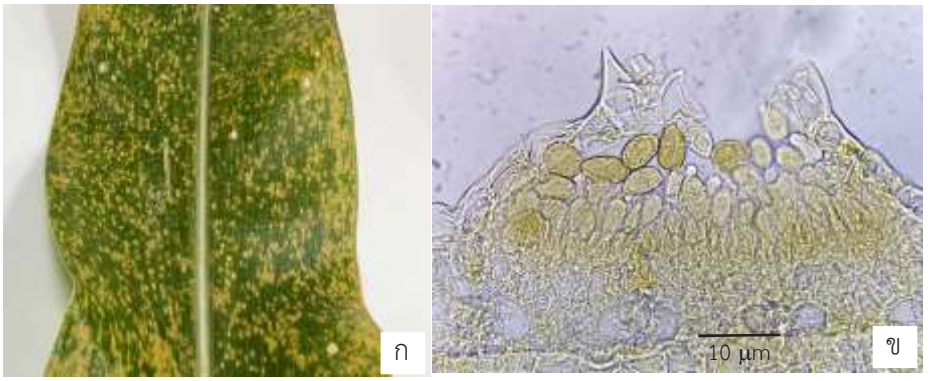
จะพบการเข้าทำลายในช่วงฤดูฝนจนถึงฤดูหนาว เชื้อราจะอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเทลิโอสปอร์ในเศษซากพืชของข้าวโพด ต่อมาเทลิโอสปอร์จะงอกในช่วงฤดูฝนและสร้างเบซิเดียมและเบซิดิโอสปอร์แพร่กระจายในอากาศเข้าทำลายใบข้าวโพด (Tronsmo *et al*., 2020; Shilpa *et al*., 2023; Oliver, 2024) เมื่อเบซิดิโอสปอร์งอกจะเข้าทำลายลำต้น กาบใบและใบของข้าวโพดผ่านทางปากใบหรือช่องเปิดต่างๆ ต่อมาจะเจริญไปที่ผิวใบและสร้างก้อนเส้นใยภายใต้เซลล์อิพิเดอร์มิสเพื่อสร้างยูรีเดียมและผลิตยูรีโดสปอร์เมื่อสปอร์ค่อยๆ เจริญขึ้นจะค่อยๆ ดันชั้นอิพิเดอร์มิสให้โปร่งออก เมื่อยูรีโดสปอร์แก่จะดันชั้นอิพิเดอร์มิสให้แตกออกเพื่อปลดปล่อยยูรีโดสปอร์สีน้ำตาลแดงแพร่กระจายไปตามลมไปได้หลายกิโลเมตร (Agrios, 2005; Zheng *et al*., 2013) นอกจากนี้ยูรีโดสปอร์สามารถเข้าทำลายต้นข้าวโพดได้ซ้ำ โดยเข้าทำลายต้นข้างเคียงในแปลงปลูก (Tronsmo *et al*., 2020; Lata *et al*., 2023; Wang *et al*., 2023) ถ้าสภาวะแวดล้อมเหมาะสมเชื้อจะสร้างยูรีเดียมและยูรีโดสปอร์ภายใน 8-10 วัน ซึ่งจะสามารถพบอาการของโรคคือยูรีโดสปอร์ปกคลุมทั่วต้นทั้งใบ ลำต้น กาบใบ การเข้าทำลายของเชื้อจะทำให้ต้นพืชสูญเสียน้ำผ่านชั้นอิพิเดอร์มิสที่แตก (ภาพที่ 4.1) (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; You *et al*., 2024)

นอกจากนี้เชื้อราสาเหตุโรคจะดูดเอาสารอาหารและน้ำจากเซลล์พืช การสังเคราะห์แสงจะลดลงเนื่องจากพื้นที่ใบถูกทำลาย การหายใจมากขึ้น รวมทั้งยับยั้งการเจริญของรากและการดูดซึมสารอาหารของราก ทำให้เมล็ดของข้าวโพดเจริญไม่เต็มที่ มี

ขนาดเล็กและเชื้อราจะชักนำให้พืชแก่เร็วกว่าปกติ เชื้อเข้าทำลายรุนแรงก่อนออกช่อดอก จะทำให้ช่อดอกเจริญไม่เต็มที่ (Ray, 2024; Spanu *et al*., 2024) ในระยะสุดท้ายเชื้อราสร้างเทเลียมและเทลิโอสปอร์เพื่ออยู่ข้ามฤดู (Zheng *et al*., 2013; Shilpa *et al*., 2022; Wang *et al*., 2023)

การควบคุม

สามารถปลูกพันธุ์ต้านทานร่วมกับการเขตกรรม กำจัดเศษซากพืชหลังการเก็บเกี่ยว โรคสามารถระบาดรุนแรงในแปลงปลูกที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงและมีการปลูกหนาแน่น ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยให้พอเหมาะและปลูกพืชให้มีระยะห่างเพื่อให้อากาศถ่ายเท (Lata *et al*., 2023; Wang *et al*., 2023) ฉีดพ่นสารเคมีทั้งแบบป้องกันและกำจัด เช่น ไดฟีโนโคนาโซล ไซโปรโคนาโซล (cyproconazole) หรือ ไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล เมื่อข้าวโพดเริ่มแสดงอาการจึงจะได้ผลดี หรือฉีดพ่นสารชนิดดูดซึม 1 -2 อาทิตย์ก่อนที่เชื้อจะเข้าทำลาย หรือคลุกเมล็ดด้วยสารเคมีก่อนปลูก



ภาพที่ 4.1 อาการของโรคราสนิมของข้าวโพดที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Puccinia sorghi* ที่แปลงปลูกตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ก. ลักษณะอาการของโรคราสนิมของข้าวโพด

ข. ยูรีโดสปอร์ของเชื้อรา *P. sorghi*

ที่มา: ภาพถ่ายโดย สรินนา อ่ำรุ่ง

4.2 โรคราเขม่าดำ (Smut)

โรคราเขม่าดำเกิดจากเชื้อราในชั้น Ustilaginomycetes อันดับ Ustilaginales มีรายงานโรคราเขม่าดำมากกว่า 1,200 ชนิด (Zuo *et al*., 2019) พบการเข้าทำลายได้ทั่วโลกซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายได้เท่ากับราสนิมหรือมากกว่าเนื่องจากเชื้อเข้าทำลายที่ช่อดอกและเมล็ดโดยตรง ทำให้ช่อดอกและเมล็ดเต็มไปด้วยสปอร์สีดำคล้ายเขม่า ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพ เชื้อสามารถเข้าทำลายธัญพืช หัวหอม ข้าวโพด อ้อย ไม้ดอก เช่น คาร์เนชั่น (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020) เซลล์พืชที่เชื้อเข้าทำลายในช่วงแรกเซลล์จะแบ่งตัวและขยายใหญ่ ต่อมาจะถูกแทนที่ด้วยเทลิโอสปอร์สีดำของเชื้อราโดยเกิดเป็นกลุ่มปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อบางๆ ของพืช (Feldbrügge *et al*., 2013; Spanu *et al*., 2024; Ray, 2024) เชื้อราสาเหตุโรคสามารถสร้างสปอร์ได้ 2 แบบได้แก่เทลิโอสปอร์และเบซิดิโอสปอร์ โดยเทลิโอสปอร์จะสร้างจากเซลล์เส้นใยที่เจริญภายในเมล็ดพืช ขณะที่เบซิดิโอสปอร์จะสร้างจากเบซิเดียมที่งอกและเจริญมาจากเทลิโอสปอร์ ซึ่งเบซิดิโอสปอร์จะเกิดบนก้านชูสปอร์เล็กๆ เรียกว่าสเตอริกมาตา (sterigmata) บนเบซิเดียม

เมื่อเบซิดิโอสปอร์งอกจะสร้างท่อเจริญ เข้าทำลายเนื้อเยื่อพืชโดยตรง เส้นใยที่เชื้อราสร้างจะเป็นแบบแฮพลอยด์ นิวเคลียส (N) ซึ่งไม่สามารถเจาะเข้าทำลายพืชได้ดีนัก (Agrios, 2005; Matei and Doehlemann, 2016; Tronsmo *et al*., 2020) จนกระทั่งเส้นใยที่สามารถเข้ากันได้รวมกันเป็นเส้นใยที่มี 2 นิวเคลียส สามารถเข้าทำลายพืชและเจริญทั้งระหว่างและในเซลล์พืชก่อให้เกิดอาการของโรคและสร้างเทลิโอสปอร์ สายพันธุ์เชื้อราสาเหตุโรคแต่ละสายพันธุ์มีความรุนแรงแตกต่างกัน (Agrios, 2005; Matei and Doehlemann, 2016; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024)

เชื้อราสาเหตุโรคราเขม่าดำจะอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเทลิโอสปอร์หรือเส้นใยในเมล็ดเศษซากพืชที่เชื้อเข้าทำลาย เทลิโอสปอร์ไม่สามารถเข้าทำลายพืชได้แต่จะทำหน้าที่ผลิตเบซิดิโอสปอร์ เมื่อเบซิดิโอสปอร์งอกจะสร้างเส้นใยเข้าทำลายพืชเป็นวัฏจักรการเกิดโรค การควบคุมโรคสามารถใช้พันธุ์ต้านทานและการคลุกเมล็ดด้วยสารเคมีหรือแช่น้ำร้อน การฉีดพ่นสารเคมี เช่น คาร์บอกซิน (carboxin) และไทอะเบนดาโซล (thiabendazole) เป็นต้น (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024)

4.2.1 โรคเขม่าดำของข้าวโพด (Corn Smut)

โรคเขม่าดำของข้าวโพดเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Mycosarcoma maydis* พบได้ทุกที่ที่ปลูกข้าวโพด โดยเฉพาะในพื้นที่เขตอบอุ่นและแห้ง ในประเทศไทยไม่จัดเป็นโรคที่ทำความเสียหายรุนแรง พบโรคได้น้อยไม่ส่งผลต่อผลผลิต (Feldbrügge *et al*., 2013; Spanu *et al*., 2024; Ray, 2024) เชื้อรา *M. maydis* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธานดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Basidiomycota
ชั้น Ustilaginomycetes
อันดับ Ustilaginales
วงศ์ Ustilaginaceae
สกุล *Mycosarcoma*
ชนิด *maydis*

อย่างไรก็ตามเชื้อสามารถเข้าทำลายได้ทุกส่วนของพืชเหนือดิน ทั้งเมล็ด ฝัก ก้าน ใบและใบข้าวโพด แต่จะพบอาการของโรคเด่นชัดที่ฝักและเมล็ด โดยเบซิดิโอสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคเมื่องอกจะสร้างเส้นใยเจริญเข้าทางไหมข้าวโพดไปยังเมล็ดและเจริญเติบโตภายในเมล็ด ต่อมาแต่ละเซลล์ของเส้นใยจะพัฒนาเป็นเทลิโอสปอร์รูปร่างกลมหรือรูปไข่สีดำจำนวนมากในเมล็ดทำให้เมล็ดบวมพองเปลี่ยนเป็นสีดำขนาดใหญ่ จากนั้นเทลิโอสปอร์จะงอกเพื่อสร้างเบซีเดียม 4 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะพัฒนาเป็นเบซิดิโอสปอร์เพื่อเข้าทำลายพืชต่อไป (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Bhuiyan *et al*., 2021; Oliver, 2024)

อาการ

เบซิดิโอสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคจะเข้าทำลายที่เมล็ดข้าวโพดผ่านทางไหมข้าวโพด เมื่อเข้าทำลายเชื้อจะกระตุ้นให้พืชแบ่งเซลล์ ขยายขนาดเพิ่มขึ้นเพื่อกระตุ้นให้พืชส่งน้ำและสารอาหารมาที่บริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย (Agrios, 2005; Matei and Doehlemann, 2016; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024) ต่อมาเชื้อจะสร้างเส้นใยจำนวนมากจนเกิดเป็นปม (gall) ในตอนแรกปมจะถูกปกคลุมด้วยชั้นบางๆ สีเขียวของ

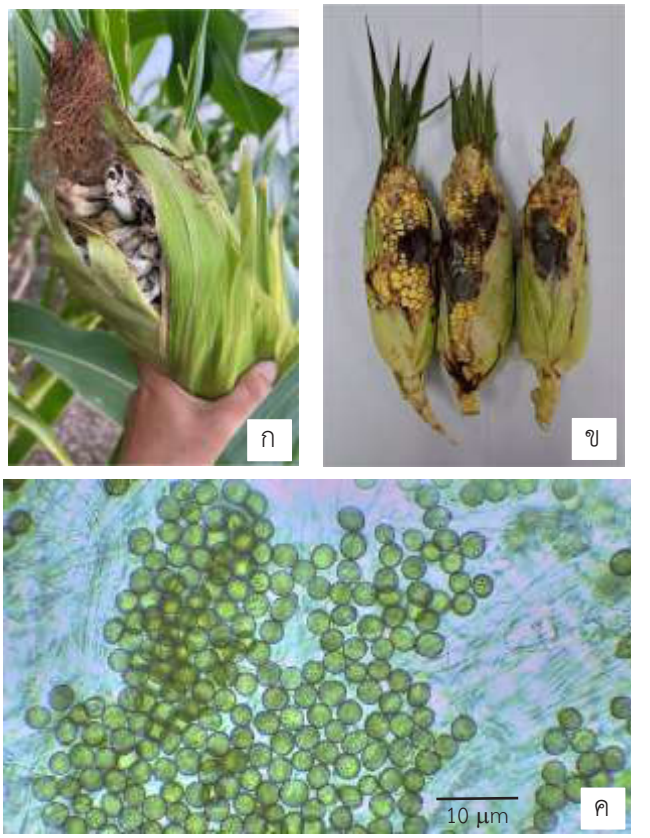
เนื้อเยื่อพืช แต่ละเซลล์ของเส้นใยจะพัฒนาเป็นเทลิโอสปอร์รูปร่างกลมหรือรูปไข่สีดำ ลักษณะเป็นฝุ่นผงจำนวนมากทำให้เมล็ดบวมพองเปลี่ยนเป็นสีดำขนาดใหญ่ เมื่อสปอร์แก่ขนาดของปมจะมีขนาด 1-5 เซนติเมตร (ภาพที่ 4.2ก-ข) เมื่อสปอร์แก่เต็มที่ผนังเซลล์ของพืชจะแตกและปล่อยเทลิโอสปอร์ออกมา นอกจากนี้อาจพบปุ่มปมเล็กๆ ที่ใบและลำต้น (Agrios, 2005; Matei and Doehlemann, 2016; Zuo *et al*., 2019; Oliver, 2024)

การพัฒนาของโรค

เชื้อราอยู่ข้ามฤดูในรูปแบบเทลิโอสปอร์ในเศษซากพืชและในดินเป็นเวลาหลายปี เมื่อถึงฤดูใบไม้ผลิหรือฤดูฝน เทลิโอสปอร์จะงอกและสร้างเบซิดิโอสปอร์ ซึ่งแพร่กระจายไปตามลมและน้ำ เบซิดิโอสปอร์จะงอกและเข้าทำลายพืชโดยสร้างเส้นใยเข้าทำลายพืชผ่านทางเซลล์อิพิเดอร์มิสหรือไหมข้าวโพดโดยตรง เมื่อเส้นใยเจริญในเซลล์พืชจะเชื่อม (fuse) กับเส้นใยที่มาจากเบซิดิโอสปอร์แหล่งอื่นที่เข้ากันได้ (Agrios, 2005; Zuo *et al*., 2019; Rajput *et al*., 2021; Oliver, 2024) หลังการเชื่อมเส้นใยจะเปลี่ยนเป็นเส้นใยที่มี 2 นิวเคลียส เส้นใยจะขยายใหญ่และเจริญระหว่างเซลล์พืช เซลล์พืชโดยรอบจะใหญ่ขึ้นและแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว สร้างเป็นปม เนื้อเยื่อพืชที่ถูกเส้นใยเข้าทำลายจะเหี่ยวและตาย เส้นใยเชื้อราจะใช้ส่วนต่างๆ ของเซลล์พืชเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งในปมจะมีเส้นใยที่มี 2 นิวเคลียส และส่วนของพืชที่หลงเหลืออยู่ ต่อมาเซลล์ที่มี 2 นิวเคลียส แต่ละเซลล์จะพัฒนาเป็นเทลิโอสปอร์ เมื่อเทลิโอสปอร์แก่จะมีสีน้ำตาลดำจะถูกปลดปล่อยออกมา (ภาพที่ 4.2ค) ตกลงบนส่วนต่างๆ ของข้าวโพดสามารถงอกละสร้างเบซิดิโอสปอร์เข้าทำลายและสร้างปุ่มปมใหม่ได้อีก เมื่อพืชตายเชื้อจะอยู่ข้ามฤดูในเศษซากพืชเป็นเวลาหลายปี (Agrios, 2005; Matei and Doehlemann, 2016; Rajput *et al*., 2021; Oliver, 2024)

การควบคุม

เนื่องจากพบโรคนี้ได้น้อยในแปลงปลูก เมื่อพบต้นข้าวโพดที่เป็นโรคให้เก็บต้นที่เป็นโรคออก ฝังหรือเผาทำลาย (Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024)



ภาพที่ 4.2 โรคเขม่าดำของข้าวโพดที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Mycosarcoma maydis* จากแปลงปลูกตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา
ก.-ข. อาการโรคราเขม่าดำข้าวโพด
ค. เทลิโอสปอร์เชื้อรา *Mycosarcoma maydis*
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

4.2.2 โรคแส้ดำในอ้อย (Sugarcane Smut)

โรคแส้ดำในอ้อยเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Sporisorium scitamineum* เชื้อสามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลม ติดไปกับท่อนพันธุ์ เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการเกษตร เชื้อราจะเข้าทำลายที่ยอดหรือช่อดอกโดยเชื้อจะเจริญแทนที่ยอดหรือช่อดอกของอ้อยเพื่อพัฒนาเป็นส่วนที่เรียกว่าโซรัส (sorus) ที่มีลักษณะคล้ายแส้สีดำ (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024) โดยพบว่าเมื่อเชื้อราเข้าทำลายยีนของพืชจะไม่

ทำงานทำให้พืชไม่พัฒนาเจริญเป็นช่อดอกแต่จะปรับเปลี่ยนเป็นส่วนของโซรัสที่มีลักษณะเป็นปล้องที่ยืดยาวมีความยาวตั้งแต่ 2-3 เซนติเมตรจนถึง 1.5 เมตร ประกอบด้วยแกนกลางที่มีเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma) และส่วนของเนื้อเยื่อท่อลำเลียงและเนื้อเยื่อเส้นใยเป็นองค์ประกอบ ล้อมรอบด้วยชั้นของเทลิโอสปอร์เป็นชั้นบางๆ ไม่แตกกิ่งก้าน รูปร่างคล้ายแท่งดินสอ (ภาพที่ 4.3ก-ข) (Bhuiyan *et al*., 2021; Rajput *et al*., 2021) เชื้อรา *S. scitamineum* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Basidiomycota
ชั้น Ustilaginomycetes
อันดับ Ustilaginales
วงศ์ Ustilaginaceae
สกุล *Sporisorium*
ชนิด *scitamineum*

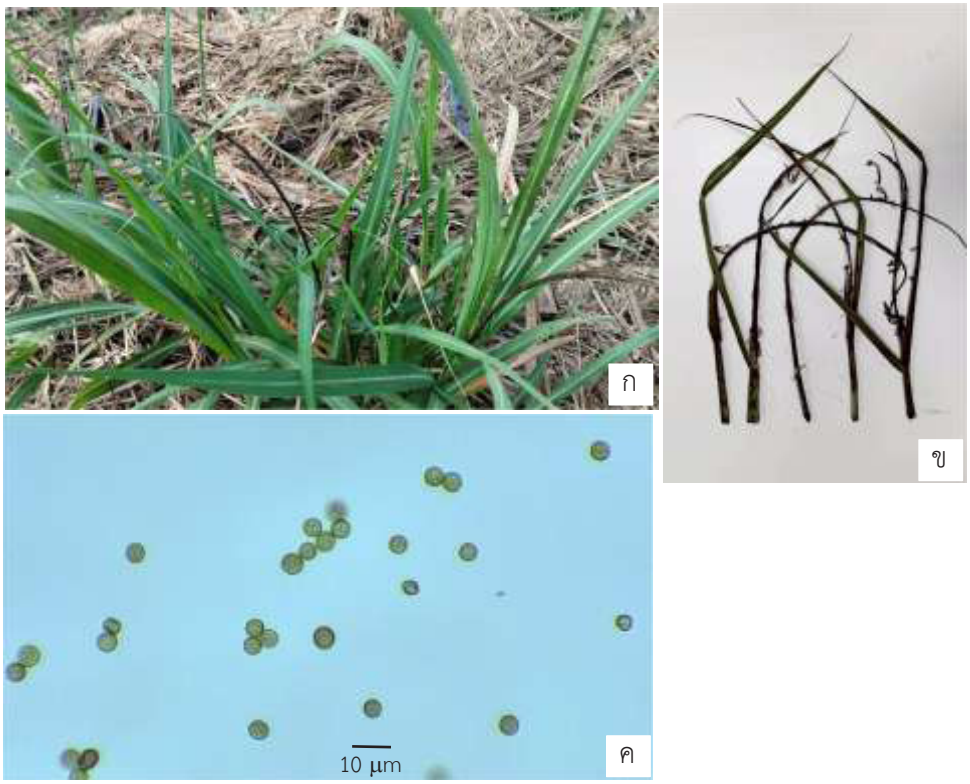
อาการ

อาการของโรคเขม่าดำของอ้อยสามารถสังเกตุได้ง่ายจากโซรัสที่คล้ายแส้เรียวยาวสีดำที่เจริญมาจากยอดอ้อย นอกจากนี้เชื้อยังสามารถเข้าทำลายส่วนต่างๆ ของยอดอ่อนโดยพบส่วนของโซรัสของเชื้อราที่มีขนาดเล็กซ่อนอยู่ภายในกอ ส่วนของแส้หรือโซรัสอาจพบเหนือหรือใต้กอ (Bhuiyan *et al*., 2021; Rajput *et al*., 2021) ซึ่งความรุนแรงของโรคจะขึ้นกับสายพันธุ์อ้อย เมื่อแก่แส้โซรัสจะเปลี่ยนเป็นสีดำของเทลิโอสปอร์ อาจพบการแตกยอดจำนวนมาก นอกจากนี้เชื้อยังสามารถเข้าทำลายใบ ทำให้ใบตาย (Oliver, 2024; Ray, 2024; Spanu *et al*., 2024)

การพัฒนาของโรค

เชื้อราสาเหตุโรค *S. scitamineum* สร้างเทลิโอสปอร์ที่มีขนาดเล็ก 5.5 - 7.5 ไมโครเมตร สีน้ำตาลดำ รูปร่างกลม มีหนามสั้น (ภาพที่ 4.3ค) ซึ่งจะสร้างภายในโซรัส ซึ่งเทลิโอสปอร์แพร่กระจายได้ง่ายโดยลม สามารถปลิวไปได้ไกลถึง 15- 135 เมตร เมื่อสปอร์ของเชื้อปลิวมาตกที่ส่วนของตาข้างของต้นอ้อย (Del Ponte and Mizubuti, 2024) จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ระยะพักตัวเมื่อตาอ้อยงอกเพื่อสร้างเป็นยอดอ่อน เทลิโอสปอร์จะงอก

สร้างเบซิเดียมและเบซิดิโอสปอร์ ต่อมาเบซิดิโอสปอร์จะงอกเป็นเส้นใยที่มีนิวเคลียสเป็นแบบแฮพลอยด์ หลังจากการเชื่อมกับเส้นใยที่เข้ากันได้จะพัฒนาเป็นเส้นใยที่มี 2 นิวเคลียสเข้าทำลายช่อดอก ตาอ่อนหรือส่วนผนังรังไข่ของดอกที่ยังอ่อน มีการสร้างโซรัสและสร้างเทลิโอสปอร์จำนวนมากโดยจะใช้เวลาตั้งแต่เข้าทำลายจนเห็นอาการของโรคที่ 3-6 เดือน (Bhuiyan *et al*., 2021; Rajput *et al*., 2021)



ภาพที่ 4.3 โรคแส้ดำของอ้อยที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Sporisorium scitamineum* ที่แปลงปลูกตำบลหนองหญ้าขาว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

ก.-ข. อาการโรคแส้ดำอ้อย

ค. เทลิโอสปอร์ของเชื้อรา *S. scitamineum*

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การควบคุม

สามารถควบคุมโรคได้โดยการใช้อ้อยพันธุ์ต้านทานหรือวิธีการเขตกรรม ปลูกด้วยเมล็ดหรือท่อนพันธุ์ปลอดโรคที่มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (tissue culture) ปลูกพืชหมุนเวียน แช่ท่อนพันธุ์ในน้ำร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที หรือแช่ท่อนพันธุ์ในสารเคมีกลุ่มไตรเอโซล (triazole) เช่น โพรพิโคนาโซล ไตรอะดิมีฟอน (triadimefon) และไซโปรโคนาโซลและสารกลุ่มสโตรบิน (strobilurin) เช่น อะซอกซีสโตรบิน เป็นต้น (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Oliver, 2024)

4.3 โรครากและลำต้นเน่าที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota (Root and Stem Rot Disease Caused by Fungi in Phylum Basidiomycota)

เชื้อราในไฟลัม Basidiomycota หลายชนิดเป็นเชื้อสาเหตุโรคพืชที่สำคัญ โดยเฉพาะเชื้อรา *Rhizoctonia* และ *Agroathelia* เป็นเชื้อราที่เจริญในดินที่สามารถเข้าทำลายราก กาบใบ หัว โคนต้น ลำต้น และใบได้ (Singh *et al*., 2019; Tronsmo *et al*., 2020) ซึ่งเชื้อราทั้งสองชนิดจัดเป็นเชื้อราที่สร้างเฉพาะเส้นใย (sterile fungi) และสร้างเม็ดสเคลอโรเตียม เชื้อราชนิดอื่นในกลุ่มนี้ที่สำคัญเช่น *Marasmius* เข้าทำลายกิ่งทุเรียนและมังคุดทำให้กิ่งแห้ง ขณะที่ *Armillaria*, *Ganoderma*, *Phellinus* และ *Polyporus* สามารถเข้าทำลายรากและโคนต้นของไม้ยืนต้น ไม้ป่า ไม้ผลและปาล์มน้ำมัน (Song, 2018; Ajayo *et al*., 2022)

4.3.1 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia* (Plant Disease Caused by *Rhizoctonia*)

โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia* สามารถพบได้ทั่วโลกโดยเชื้อสามารถเข้าทำลายในพืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ รวมทั้งพืชไร่ พืชยืนต้น ไม้พุ่ม อาการที่พบจะแตกต่างกันตามพืชอาศัย ระยะการเจริญของพืชและสภาวะแวดล้อม (Kumar *et al*., 2009; Molla *et al*., 2020; Del Ponte and Mizubuti, 2024) อาการที่พบส่วนใหญ่ก่อให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้า โรคใบไหม้ ใบจุด และกาบใบแห้ง โรครากเน่าโคนเน่าเป็นโรคที่พบบ่อยที่เกิดจากเชื้อ *Rhizoctonia* spp. โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีดินเปียก อากาศค่อนข้างชื้น (Song, 2018; Tronsmo *et al*., 2020) อาการจะเห็นได้ชัดเมื่อเชื้อราเข้า

ทำลายต้นกล้า ต้นกล้าสามารถตายได้ในเวลาอันรวดเร็วก่อนที่จะงอกพ้นดิน เช่น ต้นกล้าของถั่วและมันฝรั่งจะพบแผลสีน้ำตาลที่โคนและยอดตาย ถ้าต้นกล้างอกเชื้อราจะเข้าทำลายรากและยอดอ่อนทำให้เกิดจุดฉ่ำน้ำ เนื้อเยื่อที่โคนต้นจะถูกทำลายเห็นเป็นแผลปื้นสีน้ำตาล เมื่อเชื้อเข้าทำลายรุนแรงต้นกล้าจะหักพับลงมาซึ่งลักษณะอาการของโรคจะคล้ายคลึงกับอาการของโรคที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium* spp. ต้นกล้าที่อายุมากขึ้นเชื้อราจะเข้าทำลายลึกถึงเนื้อเยื่อข้างในจะพบแผลมียางสีแทนหรือน้ำตาลแดงซึมออกมา (Song, 2018; Tronsmo *et al*., 2020; Ajayo *et al*., 2022) แผลจะเพิ่มลุกลามจนล้อมลำต้น ต้นพืชจะตาย ก่อนที่พืชจะตายลำต้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ เชื้อสามารถเข้าทำลายรากของต้นกล้าหรือแม้แต่ต้นแก่ เกิดเป็นแผลสีน้ำตาลแดงที่บริเวณรากใกล้โคน ถ้าสภาวะอากาศเหมาะสมแผลสามารถขยายใหญ่ส่งผลให้ต้นอ่อนแอ เหลืองและตาย (Agrios, 2005; Song, 2018; Ajayo *et al*., 2022; Ebbole, 2024)

พืชที่มีลำต้นเตี้ย เช่น ผักกาดหรือกะหล่ำ หรือส่วนของใบที่สัมผัสดิน เชื้อจะเริ่มเข้าทำลายใบล่างที่สัมผัสดิน ลามขึ้นใบบนและเข้าทำลายส่วนลำต้น ที่ใบจะปรากฏแผลจุดสีน้ำตาลแดงและใบจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มทั้งใบ ต่อมาจะพบการสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมที่ใบ เช่นโรคใบติดของทุเรียน โรคกาบใบแห้งในข้าว (Song, 2018; Tronsmo *et al*., 2020) นอกจากนี้เชื้อสามารถเข้าทำลายหญ้าสนามก่อให้โรคใบไหม้ หญ้าจะแสดงอาการใบไหม้ เหี่ยวแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Kumar *et al*., 2009; Molla *et al*., 2020; Del Ponte and Mizubuti, 2024) เชื้อสามารถเข้าทำลายต้นข้างเคียงส่งผลให้อาการของโรคขยายเป็นวงกว้าง ต่อมาจะพบเม็ดสเคลอโรเตียมกลมสีน้ำตาลดำบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย นอกจากนี้เชื้อรา *Rhizoctonia* สามารถเข้าทำลายผลไม้หรือฝักที่อยู่ใกล้ดิน เช่น แตงกวา มะเขือเทศ มะเขือและถั่ว รวมทั้งติดไปกับผลและฝักไปก่อความเสียหายในระหว่างขนส่งและในโรงเก็บ (Molla *et al*., 2020; Senapati *et al*., 2022; Oliver, 2024)

4.3.1.1 โรคกาบใบแห้งของข้าว (Rice Sheath Blight)

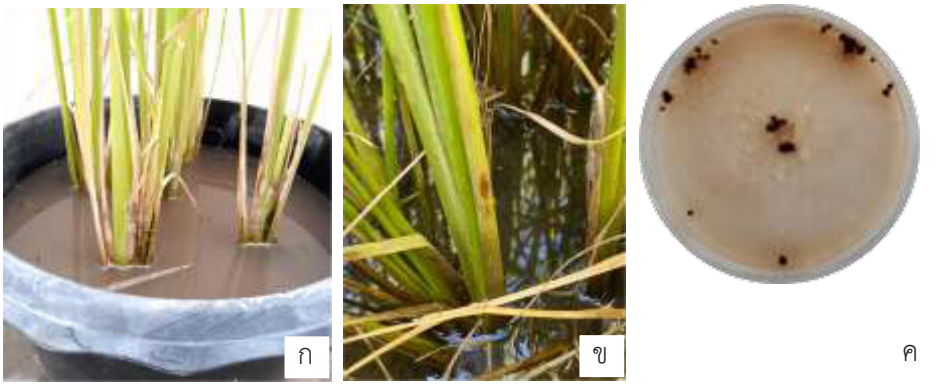
โรคกาบใบแห้งของข้าวนับเป็นโรคสำคัญในข้าวเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Rhizoctonia* spp. ซึ่งมีหลากหลายสายพันธุ์ การเข้าทำลายของเชื้อก่อให้เกิดแผลไหม้สีน้ำตาลที่กาบใบข้าวขนาดใหญ่ แผลมีลักษณะเป็นวงกว้าง ขยายไปตามเส้นใบขอบแผลมีสีน้ำตาลแดง (Singh *et al*., 2019; Senapati *et al*., 2022) โดยเชื้อรา *Rhizoctonia* จะสร้างเส้นใยอ่อนไม่มีสีต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนเมื่อแก่ เส้นใยแตกกิ่งก้านเป็นเส้นตรงจากเส้นใยหลักมีผนังกั้นบริเวณที่เส้นใยแตกออกมา เมื่อเจริญเต็มที่เชื้อสามารถสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเข้ม (Kumar *et al*., 2009; Tronsmo *et al*., 2020) โดยเชื้อรา *Rhizoctonia* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร	Fungi
ไฟลัม	Basidiomycota
ชั้น	Agaricomycetes
อันดับ	Cantharellales
วงศ์	Ceratobasidiaceae
สกุล	*Rhizoctonia*

เชื้อรา *Rhizoctonia* สายพันธุ์ต่างๆ จะสามารถแยกกลุ่มได้โดยการทดสอบการเชื่อมรวมกันได้ของเส้นใย (anastomosis) ซึ่งเส้นใยของรา *Rhizoctonia* สายพันธุ์ต่างๆ จะสามารถเชื่อมรวมกันกับเส้นใยของเชื้อรา *Rhizoctonia* ที่มีกลุ่ม anastomosis เหมือนกัน แม้ว่าจะมีกลุ่ม anastomosis หลายกลุ่มแต่เชื้อไม่ได้จำเพาะเจาะจงกับพืชอาศัย โดย anastomosis group 1 หรือ AG1 เป็นสาเหตุโรคเมล็ด ยอดและกาบใบเน่าของข้าวและพืชหลายชนิด AG2 จะเป็นสาเหตุโรคแคงเกอร์ของรากพืชและใบไหม้ของหญ้า AG3 เข้าทำลายมันฝรั่งทำให้เกิดโรคแคงเกอร์ของลำต้นและสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมสีดำบนมันฝรั่งและ AG4 จะเข้าทำลายพืชหลายชนิดทำให้เมล็ดและยอดเน่า รวมทั้งลำต้นไหม้ที่บริเวณโคนต้นในถั่ว ฝ้าย และหัวน้ำตาล (Agrios, 2005; Kumar *et al*., 2009; Ajayo *et al*., 2022)

อาการและการพัฒนาของโรค

เส้นใยหรือเม็ดสเคลอโรเตียมจะเข้าทำลายต้นข้าวที่กาบใบเหนือระดับน้ำ เริ่มแรกจะพบอาการแผลจุดหรือปื้นสีน้ำตาลอมเทาที่บริเวณกาบใบ (ภาพที่ 4.4ก-ข) (Song, 2018; Tronsmo *et al*., 2020; Senapati *et al*., 2022) ต่อมาแผลจะขยายใหญ่ขึ้นไปตามเส้นใบขอบแผลอาจขยายเชื่อมติดกันหรือซ้อนทับกัน ลามขึ้นไปตามกาบใบทำให้กาบใบข้าวแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งใบ (Singh *et al*., 2019; Molla *et al*., 2020; Ebbole, 2024) จากนั้นเชื้อสามารถเข้าทำลายลามจากกาบใบที่เป็นโรคไปยังกาบใบที่อยู่ติดกัน มักพบการเข้าทำลายของโรคในช่วงข้าวระยะแตกกอจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยจะพบความรุนแรงของโรคในแปลงข้าวที่มีการปลูกข้าวแน่นมีการแตกกอมาก (Agrios, 2005; Kumar *et al*., 2009; Ajayo *et al*., 2022)



ภาพที่ 4.4 อาการโรคกาบใบแห้งบริเวณกาบใบของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *Rhizoctonia solani* KUFA 0149 บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA
ก.-ข. อาการโรคกาบใบแห้งบริเวณกาบใบ
ค. ลักษณะโคโลนีและเม็ดสเคลอโรเตียมของเชื้อรา *R. solani* KUFA 0149 บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA อายุ 14 วัน
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

เชื้อราสามารถเจริญได้เร็วบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA โดยสามารถเจริญเต็มจานเลี้ยงเชื้อภายใน 2-3 วัน และสร้างเม็ดสเคลอโรเตียม (ภาพที่ 4.4ค) เพื่อแพร่กระจายหรือใช้พักตัวในดินหรือส่วนของพืชที่เชื้อเข้าทำลาย เช่น เศษฟางข้าวหรือในดินในแปลงปลูก นอกจากนี้

เม็ดสเคลอโรเตียมยังสามารถแพร่กระจายโดยฝน ระบบชลประทาน ระบบการให้น้ำ และน้ำท่วมโดยลอยไปกับน้ำ นอกจากนี้ติดไปกับเครื่องมือการเกษตร ดินและส่วนต่างๆ ของพืช (Singh *et al*., 2019; Tronsmo *et al*., 2020; Senapati *et al*., 2022; Ebbole, 2024) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อจะอยู่ที่ 15 -18 องศาเซลเซียส บางชนิดจะเข้าทำลายที่อุณหภูมิสูงถึง 35 องศาเซลเซียส โดยโรคจะรุนแรงมากขึ้นในดินที่เปียกชื้นโดยเฉพาะในแปลงต้นกล้า (Kumar *et al*., 2009; Ajayo *et al*., 2022; Senapati *et al*., 2022)

การควบคุม

การควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia* สามารถจัดการได้ด้วยการระบายน้ำในแปลงปลูกไม่ให้เปียกแฉะมากเกินไป ใช้เมล็ดพันธุ์ปลอดโรค ส่งเสริมให้ต้นกล้าเจริญได้เร็ว เว้นระยะปลูกให้เหมาะสมให้มีการระบายอากาศ ฆ่าเชื้อในดินด้วยสารเคมีในแปลงเพาะเมล็ดหรือแปลงเพาะต้นกล้า (Singh *et al*., 2019; Tronsmo *et al*., 2020; Senapati *et al*., 2022) หรือปลูกข้าวพันธุ์ต้านทาน เช่น กข13 กข7 สุพรรณบุรี 60 เป็นต้น ควรทำความสะอาดแปลงนาหลังการเก็บเกี่ยว โดยการเก็บตอซัง กำจัดเศษซากพืชเพื่อกำจัดส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อรา ไถตากหน้าดิน ไม่ควรปลูกข้าวหนาแน่นเกินไปโดยห่านในอัตราที่เหมาะสม 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น โพรพิโคนาโซล วาลิดามัยซิน (validamycin) หรือ เพนไซคูรอน (pencycuron) โดยฉีดพ่นบริเวณโคนต้น ตั้งแต่เริ่มพบอาการของโรคเพื่อป้องกันการระบาด ปลูกพืชหมุนเวียนทุก 3 ปี (Agrios, 2005; Kumar *et al*., 2009; Ajayo *et al*., 2022)

4.3.2 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Agroathelia* (Plant Disease Caused by *Agroathelia*)

โรคพืชที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Agroathelia* เดิมชื่อสกุล *Sclerotium* จะพบทั่วไปในเขตร้อน ก่อให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้า แคงเกอร์ที่ลำต้น หัวไหม้ ราก หัว ลำต้นและผลเน่าของพืชผัก ไม้ดอก ถั่ว ธัญพืช และพืชน้ำมัน รวมทั้งสามารถเข้าทำลายในผักและผลไม้สดระหว่างขนส่งหรือในโรงเก็บ (Hegedus and Rimmer, 2005; Bolton *et al*., 2006) มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Basidiomycota
ชั้น Agaricomycetes
อันดับ Amylocorticiales
วงศ์ Amylocorticiaceae
สกุล *Agroathelia*

เชื้อรา *A. rolfsii* เป็นเชื้อที่พบได้บ่อย เดิมชื่อ *Sclerotium rolfsii* มีพืชอาศัยกว้าง โดยเฉพาะถ้าเข้าทำลายในต้นกล้าเชื้อจะเข้าทำลายได้อย่างรวดเร็วทำให้ต้นพืชตาย การเข้าทำลายจะเริ่มที่ส่วนโคนต้นเหนือดินโดยจะพบแผลสีน้ำตาลเข้ม ต่อมาเชื้อลามขึ้นด้านบนเข้าทำลายใบ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เหี่ยวและเน่าดำจากปลายใบ (Tronsmo *et al*., 2020; Mazumdar, 2021) ในพืชที่ชุ่มน้ำ เช่น ผักชี ผักขึ้นฉ่าย ลำต้นจะหักพับลงมา ในพืชที่มีลำต้นแข็ง เช่น มะเขือเทศ เชื้อจะเข้าทำลายที่โคนต้นแล้วลามขึ้นด้านบนไปกิ่งและใบ ทำให้ต้นเหี่ยว (Agrios, 2005; Oliver *et al*., 2024) นอกจากนี้มีรายงานว่าเชื้อรานี้สามารถเข้าทำลายปาล์มน้ำมันก่อให้เกิดโรครากขาวที่ประเทศโคลัมเบีย (Angel-Salazar *et al*., 2026)

สามารถเห็นเชื้อเจริญคลุมบริเวณโคนต้นพืชที่เชื้อเข้าทำลาย โดยเชื้อราจะสร้างเส้นใยสีขาวขนาดใหญ่สามารถเห็นด้วยตาเปล่า เมื่อเจริญเต็มที่เชื้อจะสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมรูปร่างกลมขนาดใกล้เคียงกัน เริ่มแรกมีสีขาวต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่อแก่ ลักษณะแข็งเหมือนเมล็ดผักกาด (ภาพที่ 4.5) (Hegedus and Rimmer, 2005; Bolton *et al*., 2006; Tronsmo *et al*., 2020)



ก



ข

ภาพที่ 4.5 อาการโรคราเมล็ดผักกาดที่โคนและรากต้นชบาและลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *Agroathelia rolfsii* KUFA0150 บนอาหาร PDA

ก. อาการโรคที่โคนต้น

ข. ลักษณะโคโลนีและเม็ดสเคลอโรเตียมของเชื้อรา *A. rolfsii* KUFA0150

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

เมื่อเชื้อราเข้าทำลายเนื้อเยื่อพืชบริเวณโคนต้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ยุบตัวลง และเกิดอาการเน่าโคนต้น รวมทั้งส่วนของรากและหัว ต่อมาต้นจะเหี่ยวเนื่องจากการขาดน้ำ โดยเส้นใยจะหลั่งเอนไซม์หลายชนิดที่ย่อยสลายผนังเซลล์ เมื่อเข้าทำลายพืชแล้วเชื้อราจะสร้างเส้นใยสีขาวและเม็ดสเคลอโรเตียมอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในสภาพอากาศชื้น (Hegedus and Rimmer, 2005; Bolton *et al*., 2006) ซึ่งเชื้อราสาเหตุโรคสามารถติดไปกับหัวพืชทำให้เชื้อสามารถเข้าทำลายต่อในโรงเก็บ ความรุนแรงของเชื้อจะขึ้นกับสภาพอากาศและความชื้น (Agrios, 2005; Oliver *et al*., 2024) เชื้อราสามารถอยู่ข้ามฤดูในรูปเม็ดสเคลอโรเตียมในดินและเศษซากพืช เม็ดสเคลอโรเตียมสามารถแพร่กระจายไปกับน้ำที่ไหล ดิน เครื่องมือการเกษตร หรือส่วนต่างๆ ของพืชที่มีเชื้อเข้าทำลาย (Ghosh *et al*., 2020)

การควบคุม

ควรปลูกพืชหมุนเวียน ทำความสะอาดแปลงปลูก ฉีดพ่นสารเคมีเพนตะคลอโรไนโตรเบนซีน (pentachloronitrobenzene) ในดินก่อนปลูก ฆ่าเชื้อในดินด้วยการไถพรวน

ตากดิน ด้วยความร้อนจากแสงแดดหรือฉีดพ่นชีวภัณฑ์ทั้งจากแบคทีเรียและเชื้อรา คลุกเมล็ดหรือกำจัดเชื้อที่ติดมากับชิ้นส่วนอื่นๆ ก่อนปลูกด้วยสารเคมี เมื่อพบเส้นใยสีขาวขนาดใหญ่ที่โคนต้นพืชที่แสดงอาการของโรคให้รีบกำจัดออกรวมทั้งดินรอบรากต้นที่เป็นโรคด้วย (Tronsmo *et al*., 2020; Ghosh *et al*., 2020; Oliver, 2024)

4.3.3 โรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Ganoderma* (Plant Disease Caused by *Ganoderma*)

โรคโคนเน่าของปาล์มน้ำมันเกิดจากการเข้าทำลายของเห็ด *Ganoderma* หลายชนิดได้แก่ *G. boninense*, *G. miniatocinctum*, *G. chalceum*, *G. tornatum*, *G. zonatum* และ *G. xylonoides* (Flood *et al*., 2022) อย่างไรก็ตามการเข้าทำลายของเห็ด *G. boninense* จะพบได้บ่อยกว่าชนิดอื่น ซึ่งการเข้าทำลายจากเห็ดเหล่านี้จะทำให้โคนต้นปาล์มถูกทำลายอย่างรุนแรง (Siddiqui *et al*., 2021; Flood *et al*., 2022; Supramani *et al*., 2022) โดยเชื้อรา *G. boninense* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Basidiomycota
ชั้น Agaricomycetes
อันดับ Polyporales
วงศ์ Ganodermataceae
สกุล *Ganoderma*
ชนิด *boninense*

อาการ

ในช่วงแรกจะพบใบอ่อนมีลักษณะแหลมคล้ายหอกที่ยอดไม่คลี่คลายใบออก ใบแก่จะมีสีซีดกว่าปกติมีจุดตายของเนื้อเยื่อใบเริ่มจากใบแก่กระจายไปใบอ่อน ต่อมาใบล่างจะเหี่ยวลู่ลงมาติดกับต้นหรือร่วงลงมา (ภาพที่ 4.6ก) อาการที่โคนต้นเริ่มแรกจะพบอาการปื้นช้ำสีน้ำตาลอ่อน มีแผลดำหลายเหลี่ยม (Tronsmo *et al*., 2020; Siddiqui *et al*., 2021; Supramani *et al*., 2022; Zakaria, 2023) ภายในปื้นแผลเมื่อถากเอาเปลือกออกจะพบอาการเน่าและมีสีเหลือง รากปาล์มที่เชื้อเข้าทำลายจะเน่าดึงออกได้ง่าย เชื้อสามารถเจริญจากรากเข้าสู่โคนต้นซึ่งจะใช้เวลาในการเข้าทำลายและแสดงอาการประมาณ 6-8 เดือน

อาจพบการสร้างหรือไม่สร้างดอกเห็ดในต้นที่ถูกเชื้อเข้าทำลาย เมื่อต้นปาล์มใกล้ตายเชื้อจะสร้างเม็ดซูโดสเคลอโรเตียม (pseudosclerotium) และเส้นใยขนาดใหญ่จำนวนมากที่ราก (Flood *et al*., 2022) การสร้างดอกเห็ดในระยะแรกจะพบเป็นก้อนเส้นใยอัดแน่นลักษณะเป็นก้อนกลมสีขาวที่โคนต้น ต่อมาก้อนเส้นใยจะค่อยๆ พัฒนาเป็นดอกเห็ดสีน้ำตาลรูปร่างคล้ายจาน (ภาพที่ 4.6ข-ค) เพื่อสร้างเบซิดิโอสปอร์แพร่กระจายออกไป (Agrios, 2005; Siddiqui *et al*., 2021; Supramani *et al*., 2022)



ภาพที่ 4.6 อาการโรคโคนเน่าของปาล์มน้ำมันที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ganoderma boninense* ที่แปลงปลูกตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง
ก. ต้นปาล์มน้ำมันที่เป็นโรคโคนเน่าแสดงอาการใบเหี่ยวลู่ลงมา ใบยอดจะมีลักษณะแหลมยาวคล้ายหอก ใบไม่คลี่ออก
ข.-ค. ลักษณะดอกเห็ด *G. boninense* เจริญที่โคนต้นปาล์มน้ำมัน
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การพัฒนาของโรค

การพัฒนาของโรคเกิดจากการที่รากที่เป็นโรคสัมผัสกับรากต้นปกติ หรือดอกเห็ดจะสร้างเบซิดิโอสปอร์จำนวนมากที่สามารถปลิวและตกที่ส่วนต่างๆ ของปาล์ม งอกเป็นเส้นใยเข้าทำลายราก โคน และลำต้น (Agrios, 2005; Siddiqui *et al*., 2021; Supramani *et al*., 2022) เส้นใยของเห็ดจะเข้าทำลายรากของปาล์มน้ำมันโดยใช้เส้นใยขนาดเล็กลักษณะคล้ายเข็มแทงที่เนื้อเยื่อของรากเพื่อเข้าทำลาย เมื่อเข้าทำลายแล้วจะสร้างเส้นใยจำนวนมากเจริญมาอยู่ที่บริเวณโคนต้น เส้นใยจะหลั่งเอนไซม์มาย่อยสลายลิกนินและเซลลูโลสของเซลล์พืชทำให้ผนังเซลล์พืชแตกแยกออกจากกัน รวมทั้งระบบท่อน้ำท่ออาหารถูกทำลาย ส่วนที่โคนต้นอาจจะยุบตัวลงหรือเห็นเป็นโพรงที่โคนต้น (Tronsmo *et al*., 2020; Siddiqui *et al*., 2021; Supramani *et al*., 2022; Zakaria, 2023)

เชื้อสามารถเจริญเข้าไปจนถึงเนื้อเยื่อกลางต้นบริเวณเซลล์เอนโดเดอร์มิส (endodermis) และชั้นคอร์แท็กซ์ชั้นใน ทำให้เซลล์พาเรนไคมา (parenchyma) และสเคลอเรนไคมา (sclerenchyma) แยกออกจากกันเป็นช่องว่าง เส้นใยจำนวนมากจะเจริญภายในโคนต้น ซึ่งจะส่งผลขัดขวางการขนส่งน้ำและสารอาหารไปยังยอดทำให้ใบแก่จะเริ่มเหลือง เหี่ยว ด้านไม่เป็นมัน ใบจะลู่ลงมา ใบใหม่จะไม่คลี่ออกจะเป็นลักษณะแหลมคล้ายหอก (Tronsmo *et al*., 2020; Flood *et al*., 2022; Zakaria, 2023) ต่อมาอาจจะพบดอกเห็ดที่โคนต้น นอกจากนี้การเข้าทำลายของเชื้อทำให้เกิดช่องเปิดทำให้เชื้อราและแบคทีเรียชนิดอื่นเข้าทำลายซ้ำ (Siddiqui *et al*., 2021; Flood *et al*., 2022; Supramani *et al*., 2022)

การควบคุม

การควบคุมโรคควรมีการดำเนินการอย่างสม่ำเสมอในแปลงปลูก โดยใช้วิธีการเขตกรรมแบบผสมผสาน เช่น การทำความสะอาดแปลง การใส่ปุ๋ยให้เหมาะสม ราดโคนด้วยสารกลุ่มดูดซึมได้แก่ เฮกซะโคนาโซล ไซโพรโคนาโซล ฟลูไตรเอฟอล (flutriafol) ฟุซิลาซอล (fusilazol) ไตรอะดิมีนอล (triadimenol) ไตรดีมอฟ (tridemorph) และออกซี่คาร์บอกซิน (oxycarboxin) กำจัดต้นที่เป็นโรครุนแรงออกจากแปลงและขุดรากทิ้งเพื่อไม่ให้เป็นแหล่งของเชื้อ เก็บเศษซากใบ ทะลาย ผลที่ร่วงหล่นออกจากแปลง (Flood *et al*.,

2022) นอกจากนี้มีรายงานว่าเชื้อรา *Trichoderma harzianum*, *T. reesei* และ *T. asperellum* มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคในระยะเริ่มต้น (Agrios, 2005) รวมทั้งการให้ธาตุอาหารรองเช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) ซิลิคอน (Si) โบรอน (B) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และแมงกานีส (Mn) หรือกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) จะช่วยเพิ่มความต้านทานโรคในต้นกล้าปาล์มได้ (Agrios, 2005; Tronsmo *et al*., 2020; Flood *et al*., 2022; Zakaria, 2023)

4.4 บทสรุป

เชื้อราในไฟลัม Basidiomycota ก่อให้เกิดโรคพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด โรคพืชที่สำคัญของเชื้อราในไฟลัมนี้ได้แก่ โรคราสนิม โรคราเขม่าและโรครากเน่าโคนเน่า เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมจัดอยู่ในอันดับ Uredinales เป็นเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิตและมีความจำเพาะเจาะจงกับพืชอาศัย เชื้อราเข้าทำลายได้ทั้งใบและลำต้น โดยจะก่อให้เกิดอาการแผลจุดสีสนิม เหลือง ส้ม หรือสีขาวในเซลล์อิพิเดอร์มิสหรือสร้างปมในช่อดอกของพืชส่งผลให้การเจริญเติบโตไม่เต็มที่ เมล็ดจะมีขนาดเล็กลง ผลผลิตลดลงเนื่องจากต้นพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมทุกชนิดจะสร้างสปอร์แบบยูรีโดสปอร์และเบซิดิโอสปอร์ เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมที่สร้างสปอร์ได้เพียง 2 ระยะ แบบยูรีโดสปอร์และเบซิดิโอสปอร์จะมีวัฏจักรชีวิตแบบสั้นเรียกว่า microcylic rust เช่น เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมในหน่อไม้ฝรั่งและลีลาวดี ขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมบางชนิดสามารถสร้างสปอร์ได้ถึง 5 ระยะ ได้แก่ ยูรีโดสปอร์ เบซิดิโอสปอร์ สเปอร์มาเทียมหรือพิคนิโอสปอร์ เอซิโอสปอร์ และเทลิโอสปอร์ จะเรียกว่าเชื้อราสนิมที่มีวัฏจักรชีวิตใหญ่หรือ macrocyclic rust เช่น เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมของข้าวสาลี เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมบางชนิดสามารถเข้าทำลายพืชมากกว่า 1 ชนิด โดยมีพืชอาศัยหลักและพืชอาศัยสลับเพื่อเจริญครบวัฏจักรเรียกว่า heteroecious rust ขณะที่เชื้อราสาเหตุโรคราสนิมที่เจริญครบวัฏจักรในพืชอาศัยชนิดเดียวเรียกว่า autoecious rust การควบคุมโรคราสนิมสามารถใช้พันธุ์ต้านทานร่วมกับการเขตกรรม กำจัดพืชอาศัยสลับหรือฉีดพ่นสารเคมี 2-4 ครั้งในช่วงฤดูปลูก คลุกเมล็ดด้วยสารเคมีก่อนปลูก ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้พอเหมาะและไม่ปลูกพืชหนาแน่น

โรคเขม่าดำสามารถเข้าทำลายที่ช่อดอกโดยตรง ทำให้ช่อดอกเต็มไปด้วยเทลิโอสปอร์ สีดำคล้ายเขม่า ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพของผผลิต เชื้อสามารถเข้าทำลายธัญพืช หัวหอม ข้าวโพด อ้อย ไม้ดอก เชื้อบางชนิดสามารถเข้าทำลายใบ ลำต้น ดอกและเมล็ด เซลล์พืชที่เชื้อเข้าทำลายในช่วงแรกเซลล์จะแบ่งตัวและขยายใหญ่ ต่อมาจะถูกแทนที่ด้วยเทลิโอสปอร์สีดำของเชื้อรา เทลิโอสปอร์จะเกิดเป็นกลุ่มปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อบางๆ เชื้อราสาเหตุโรคราเขม่าดำจะสร้างสปอร์ได้ 2 แบบได้แก่เทลิโอสปอร์และเบซิดิโอสปอร์ การควบคุมสามารถปลูกพันธุ์ต้านทานและการคลุกเมล็ดด้วยสารเคมีหรือแช่น้ำร้อนท่อนพันธุ์ การฉีดพ่นสารเคมี โรคราเขม่าดำที่สำคัญได้แก่ โรคเขม่าดำของข้าวโพดและอ้อย

โรครากและลำต้นเน่าที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Basidiomycota เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia* และ *Agroathelia* เป็นส่วนใหญ่ โดยเชื้อราทั้งสองสกุลสามารถเข้าทำลายราก ลำต้น หัวและส่วนอื่นๆ เป็นเชื้อราที่สร้างเฉพาะเส้นใยและสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมเพื่อแพร่กระจายและพักตัวในดิน ขณะที่เชื้อรา *Ganoderma* สามารถเข้าทำลายรากและโคนต้นของปาล์มน้ำมัน ทำให้ใบอ่อนมีลักษณะแหลมคล้ายหอกที่ยอด ใบแก่จะมีสีซีดกว่าปกติมีจุดตายของเนื้อเยื่อใบเริ่มจากใบแก่กระจายไปใบอ่อน ใบล่างจะเหี่ยวลู่ลงมาติดกับต้นหรือร่วงลงมา ส่วนที่โคนต้นจะยุบตัวลงหรือเห็นเป็นโพรงที่โคนต้นต่อมาจะพบดอกเห็ดที่โคนต้น การควบคุมโรคควรมีการดำเนินการอย่างสม่ำเสมอในแปลงปลูก โดยใช้วิธีการเขตกรรมแบบผสมผสาน ฉีดพ่นหรือราดโคนด้วยเชื้อปฏิปักษ์หรือสารเคมี

4.5 เอกสารอ้างอิง

Agrios, G. 2005. Plant Pathology. 5th ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922 p.

Ajayo, B.S., Huang, Y. and Huang, H. 2022. Utilizing transcription factors for improving banded leaf and sheath blight disease resistance in maize: a review. Journal of Plant Interactions 17(1): 911–926.

Angel-Salazar, L.d.M., Zuñiga-Perez, L.F., Mestizo-Garzón, Y.A., Ortega-Soto, C.S., Garcia-Ruiz, D.A., Medina-Cárdenas, H.C., Padilla, J.L., Vargas-Medina, L.E., Morales-Rodríguez, A. and Sarria, G.A. 2026. First report of *Agroathelia rolfsii* causing white fruit rot in oil palm hybrid OxG in Colombia. Journal of Fungi 12: 31.

Bhuiyan, S.A., Magarey, R.C., McNeil, M.D. and Aitken, K.S. 2021. Sugarcane smut, caused by *Sporisorium scitamineum*, a major disease of sugarcane: a contemporary review. Phytopathology 111(11): 1905–1917.

Bolton, M.D., Thomma, B.P.H.J. and Nelson, B.D. 2006. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. Molecular Plant Pathology 7(1): 1–16.

Del Ponte, E.M. and Mizubuti, E.S.G. 2024. Epidemics: Disease in populations. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 227–245.

Ebbole, D. 2024. Rice. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 767–771.

Feldbrügge, M., Kellner, R. and Schipper, K. 2013. The biotechnological use and potential of plant pathogenic smut fungi. Applied Microbiology and Biotechnology 97: 3253–3265.

Flood, J., Bridge, P.D. and Pilotti, C.A. 2022. Basal stem rot of oil palm revisited. Annals of Applied Biology 181(2): 160–181.

Ghosh, T., Pradhan, C. and Das, A.B. 2020. Control of stem-rot disease of rice caused by *Sclerotium oryzae* catt and its cellular defense mechanism – A review. Physiological and Molecular Plant Pathology 112: 101536.

Hegedus, D.D. and Rimmer, S.R. 2005. *Sclerotinia sclerotiorum*: when "to be or not to be" a pathogen? FEMS Microbiology Letters 251(2): 177–184.

Hovmøller, M.S., Thach, T. and Justesen, A.F. 2023. Global dispersal and diversity of rust fungi in the context of plant health. Current Opinion in Microbiology 71: 102243.

Kumar, K.V.K., Reddy, M.S., Kloepper, J.W., Lawrence, K.S., Groth, D.E. and Miller, M.E. 2009. Sheath blight disease of rice (*Oryza sativa* L.) - An overview. Biosciences Biotechnology Research Asia 6(2): 465–480.

Lata, C., Manjul, A.S., Prasad, P., Gangwar, O.P., Adhikari, S., Kumar, S., Bhardwaj, S.C., Singh, G., Samota, M.K., Choudhary, M., Bohra, A. and Varshney, R.V. 2023. Unraveling the diversity and functions of sugar transporters for sustainable management of wheat rust. Functional and Integrative Genomics 23: 213.

Matei, A. and Doehlemann, G. 2016. Cell biology of corn smut disease—*Ustilago maydis* as a model for biotrophic interactions. Current Opinion in Microbiology 34: 60–66.

Mazumdar, P. 2021. Sclerotinia stem rot in tomato: a review on biology, pathogenicity, disease management and future research priorities. Journal of Plant Diseases and Protection 128: 1403–1431.

Molla, K.A., Karmakar, S., Molla, J., Bajaj, P., Varshney, R.K., Datta, S.K. and Datta, K. 2020. Understanding sheath blight resistance in rice: the road behind and the road ahead. Plant Biotechnology Journal 18(4): 895–915.

Oliver, R.P. 2024. Diseases caused by fungi. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 339–423.

Rajput, M.A., Rajput, N.A., Syed, R.N., Lodhi, A.M. and Que, Y. 2021. Sugarcane smut: current knowledge and the way forward for management. Journal of Fungi 7: 1095.

Ray, R.V. 2024. Effects of pathogens and disease on plant physiology. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 63–91.

Senapati, M., Tiwari, A., Sharma, N., Chandra, P., Bashyal, B.M., Ellur, R.K., Bhowmick, P.K., Bollinedi, H., Vinod, K.K., Singh, A.K. and Krishnan, S.G. 2022. *Rhizoctonia solani* Kühn pathophysiology: status and prospects of sheath blight disease management in rice. Frontiers in Plant Science 13: 881116.

Shilpa, T.R.K., Prasad, P., Bhardwaj, S.C., Gangwar, O.P. and Kumar, S. 2022. Epigenetics of wheat–rust interaction: an update. Planta 255: 50.

Siddiqui, Y., Surendran, A., Paterson, R.R.M., Ali, A. and Ahmad, K. 2021. Current strategies and perspectives in detection and control of basal stem rot of oil palm. Saudi Journal of Biological Sciences 28(5): 2840–2849.

Singh, P., Mazumdar, P., Harikrishna, J.A. and Babu, S. 2019. Sheath blight of rice: a review and identification of priorities for future research. Planta 250: 1387–1407.

Song, Z. 2018. Fungal microsclerotia development: essential prerequisites, influencing factors, and molecular mechanism. Applied Microbiology and Biotechnology 102: 9873–9880.

Spanu, P., Pietro, A.D. and Oliver, R.P. 2024. Pathogenicity—How do plant pathogens cause disease? In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 93–130.

Supramani, S., Rejab, N.A., Ilham, Z., Wan-Mohtar, W.A.A. and Ghosh, S. 2022. Basal stem rot of oil palm incited by *Ganoderma* species: A review. European Journal of Plant Pathology 164: 1–20.

Tronsmo, A.M., Collinge, D.B., Djurle, A., Munk, L., Yuen, J. and Tronsmo, A. 2020. Plant Pathology and Plant Diseases. CABI. 461 p.

Wang, J., Chen, T., Tang, Y., Zhang, S., Xu, M., Liu, M., Zhang, J., Loake, G.J. and Jiang, J. 2023. The biological roles of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* effectors during Infection of wheat. Biomolecules 13: 889.

You, Y., Liao, J., He, Z., Khurshid, M., Wang, C., Zhang, Z., Mao, J. and Xia, Y. 2024. Effects of peanut rust disease (*Puccinia arachidis* Speg.) on agricultural production: current control strategies and orogress in breeding for resistance. Genes 15: 102.

Zakaria, L. 2023. Basal stem rot of oil palm: The pathogen, disease incidence, and control methods. Plant Disease 107(3): 603–615.

Zheng, W., Huang, L. and Huang, J. 2013. High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the wheat stripe rust fungus. Nature Communications 4: 2673.

Zuo, W., Ökmen, B., Depotter, J.R.L., Ebert, M.K., Redkar, A., Villamil, J.M. and Doehlemann, G. 2019. Molecular interactions between smut fungi and their host Plants. Annual Review of Phytopathology 57: 411–430.

บทที่ 5
การจัดแบ่งกลุ่มและคุณสมบัติของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม FRAC
(Classification and Property of Fungicide in FRAC)

เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่มีหลากหลายชนิดดังที่ได้กล่าวในบทที่ 1-4 ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต โดยเฉพาะในพืชไร่ พืชผักและไม้ผลเศรษฐกิจ ได้แก่ข้าว ผัก ทุเรียน มะม่วง เป็นต้น เกษตรกรจึงนิยมใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัด ปัจจุบันมีการผลิตสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราจำนวนกว่า 200 ชนิด โดยประเทศไทยมีสถิติการนำเข้าสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2568 มีปริมาณการนำเข้ารวม 23,302 ตัน ปริมาณสารออกฤทธิ์ 10,380 ตัน โดยส่วนใหญ่จะนำเข้าจากประเทศจีน รองลงมาได้แก่ประเทศอินเดีย มาเลเซีย เยอรมันนี และอิสราเอล ตามลำดับ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2569) สำหรับสารคาร์เบนดาซิม เป็นสารที่มีปริมาณการนำเข้ามากที่สุดในปี พ.ศ. 2568 โดยมีปริมาณการนำเข้าถึง 2,615 ตัน รองลงมาได้แก่เฮกซะโคนาโซล และ กรดฟอสฟอริก มีปริมาณการนำเข้า 2,228 และ 1,922 ตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 5.1) (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2569)

ซึ่งการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราทั้งข้อดีข้อเสีย ข้อดีคือการมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชที่สม่ำเสมอและรวดเร็วในแปลงปลูกโดยเฉพาะการป้องกันกำจัดโรคพืชในระบบการปลูกพืชเชิงเดี่ยวนับเป็นข้อดีที่ทราบกันดี อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เดิมซ้ำๆ ย่อมส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชเกิดการดื้อยา ส่งผลต่อผู้ใช้ผู้บริโภคอันเนื่องมาจากสารพิษตกค้าง รวมทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งนับเป็นข้อเสียที่ควรระวัง (ธิดา, 2559) ดังนั้นการทราบถึงคุณสมบัติและกลไกการออกฤทธิ์ของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราแต่ละชนิด รวมทั้งการใช้ให้ถูกต้อง ถูกเวลาและถูกวิธีจะช่วยลดผลกระทบจากข้อเสียของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในการควบคุมโรคพืชให้ลดลง

ตารางที่ 5.1 ปริมาณการนำเข้าสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราสูงสุด 10 อันดับแรกของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2568

ลำดับ	สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา	ปริมาณ (กก.)	สารออกฤทธิ์ (กก.)
1	คาร์เบนดาซิม (carbendazim)	2,615,031.82	1,402,675.91
2	เฮกซะโคนาโซล (hexaconazole)	2,228,868.31	125,101.42
3	กรดฟอสฟอริก (phosphonic acid)	1,922,834.60	769,133.84
4	แมนโคเซบ (mancozeb)	1,760,080.00	1,405,904.00
5	คาซูกาไมซิน ไฮโดรคลอไรด์ไฮเดรต (kasugamycin hydrochloride hydrate)	858,412.00	18,428.28
6	เมทาแลกซิล (metalaxyl)	840,690.50	226,219.50
7	ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม (fosetyl-aluminium)	785,601.00	635,230.80
8	โพรพิเนบ (propineb)	749,793.00	521,705.10
9	ไดฟีโนโคนาโซล (difenoconazole) + อะซอกซีสโตรบิน (azoxystrobin)	701,162.88	225,007.54
10	ไดฟีโนโคนาโซล (difenoconazole) + โพรพิโคนาโซล (โพรพิโคนาโซล)	641,764.11	192,539.23

ที่มา: สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร (2569)

ทั้งนี้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือสารที่มีฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุด (multi-site fungicide) สารกลุ่มนี้จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หลายจุด ส่วนใหญ่เป็นสารชนิดป้องกันไม่ดูดซึมซึ่งสารในกลุ่มนี้เชื้อราสาเหตุโรคพืชจะดื้อยาได้ยาก (Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver, 2024) และสารที่เข้าทำลายเฉพาะจุด (single-site fungicide) ส่วนใหญ่เป็นสารดูดซึมสามารถป้องกันกำจัดโรคพืชที่เข้าทำลายพืชแล้ว มีกลไกออกฤทธิ์โดยเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ที่มีความสำคัญที่เฉพาะเจาะจงในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช ซึ่งการที่สารเคมีออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีความสำคัญที่เฉพาะเจาะจงในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืชนี้ส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) ที่ตำแหน่งดังกล่าวได้ง่าย (Luo and Ning, 2022; Luo *et al*., 2023; Oliver, 2024) ประกอบกับการปลูกพืชเชิงเดี่ยวที่มีการปลูกพืชชนิดเดิมในพื้นที่เดิมซ้ำๆ ทุกปีและมีการใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำๆ ก็ส่งผลให้เชื้อรามีการพัฒนาการดื้อยาและพัฒนาเป็นสายพันธุ์รุนแรงในการก่อโรคได้

(Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

5.1 รูปแบบของสารเคมี (Formulation)

รูปแบบของสารเคมีหมายถึงลักษณะของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่ผลิตขึ้นมาจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งรูปแบบของสารเคมีจะปรากฏในฉลากข้างผลิตภัณฑ์เป็นตัวย่อภาษาอังกฤษต่อท้ายเปอร์เซ็นต์สารออกฤทธิ์ ซึ่งมีทั้งรูปแบบผง สารละลายน้ำ สารละลายน้ำมัน (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) รูปแบบที่พบมากในท้องตลาดได้แก่

5.1.1 สารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันเข้มข้น (Emulsifiable Concentrates, EC) สารออกฤทธิ์จะละลายอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น ปิโตรเลียม เฮกเซนหรือน้ำมัน เมื่อผสมลงในน้ำสารจะเปลี่ยนเป็นอิมัลชั่น (emulsion) หรือสารละลายน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ มีสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม ขนาดของอิมัลชั่นที่กระจายในน้ำมีขนาดมากกว่า 2 ไมโครเมตร

5.1.2 สารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันอนุภาคขนาดเล็ก (Micro-Emulsion, ME) สารเคมีรูปแบบนี้จะคล้ายกับแบบสารละลายน้ำมันเข้มข้น สารออกฤทธิ์จะละลายอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น น้ำมันหรือปิโตรเลียม เมื่อผสมลงในน้ำสารจะเปลี่ยนเป็นอิมัลชั่นที่กระจายตัวอยู่ในน้ำที่มีขนาดเล็กน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร

5.1.3 สารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันในน้ำ (Emulsion, oil in water, EW) สารออกฤทธิ์จะละลายในน้ำมันหรือสารอินทรีย์ต่างๆ เช่นเดียวกับสารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันเข้มข้นแต่จะอยู่ในรูปแบบอิมัลชั่นที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ

5.1.4 สารเคมีชนิดน้ำ (Liquid, L หรือ Solution Liquid, SL) สารออกฤทธิ์จะละลายอยู่ในน้ำหรือตัวทำละลายที่สามารถละลายในน้ำได้ เมื่อนำมาผสมกับน้ำจะมีสีใสไม่เป็นสีขาวขุ่นเนื่องจากสารออกฤทธิ์จะละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ

5.1.5 สารเคมีชนิดสารแขวนลอยเข้มข้น (Suspension Concentrate, SC) สารรูปแบบนี้มีสารออกฤทธิ์ที่เป็นผงละเอียดกระจายตัวในน้ำ เมื่อนำมาผสมน้ำสารออกฤทธิ์ที่

เป็นของแข็งจะกระจายตัว (dispersion) เป็นสารแขวนลอยในน้ำ สารละลายที่ได้จะมีลักษณะสีขาวขุ่น

5.1.6 สารเคมีชนิดผงผสมน้ำ (Wettable Powder, WP) สารรูปแบบนี้จะถูกบดละเอียดอยู่ในรูปผงแป้งเพื่อจำหน่าย ต้องผสมน้ำก่อนใช้ เมื่อผสมน้ำผงสารจะไม่ละลายน้ำแต่จะกระจายตัวอยู่ในน้ำ สารละลายที่ได้จะมีลักษณะสีขาวขุ่น

5.1.7 สารเคมีชนิดผงละลายน้ำ (Soluble Powder, SP) สารรูปแบบนี้เหมือนกับสารเคมีชนิดผงผสมน้ำแต่เมื่อผสมสารเคมีชนิดผงละลายน้ำในน้ำ สารจะสามารถละลายน้ำได้ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี

5.1.8 สารเคมีชนิดเม็ด (Granules, G) สารออกฤทธิ์จะถูกบดให้เป็นผงละเอียดแล้วนำมาเคลือบอยู่บนผิวของสารตัวพาที่ผลิตจากผงดินเหนียว ซังข้าวโพด เปลือกวอลนัล หรือสารออกฤทธิ์จะแทรกซึมเข้าไปในสารพาจากนั้นจะถูกอัดให้อยู่ในรูปเม็ดโดยมีเปอร์เซ็นสารออกฤทธิ์ต่ำประมาณ 1-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สารในรูปแบบนี้จะใช้ในดินเพื่อควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคในดิน ไส้เดือนฝอยรวมทั้งวัชพืชและแมลง บางครั้งจะถูกใช้ร่วมกับการให้ปุ๋ย สามารถใช้โดยเครื่องให้ปุ๋ย เฮลิคอปเตอร์หรือเครื่องบินเพื่อลดการปลิวเมื่อใช้แบบผง สารรูปแบบเม็ดนี้จะค่อยๆ ปล่อยสารออกฤทธิ์ออกมาทีละน้อย บางชนิดต้องการความชื้นจากดินเพื่อใช้ในการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์

5.1.9 สารเคมีชนิดรม (Fumigant fungicides) สารในรูปแบบนี้มีคุณสมบัติสามารถระเหยเป็นก๊าซได้ โดยสารจะอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งในบรรจุภัณฑ์ และจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซเมื่อถูกปล่อยออกมาหรือเมื่อถูกอากาศและความชื้น สารในรูปแบบนี้ถูกใช้ในการฆ่าเชื้อในดินหรือโรงเก็บ ข้อดีคือเป็นพิษกับศัตรูพืชหลายชนิด จึงใช้กำจัดศัตรูพืชหลายชนิดในการใช้เพียงครั้งเดียว สามารถซึมเข้าเนื้อไม้ บรรจุภัณฑ์ที่เก็บในโรงเก็บหรือดิน ข้อเสียคือค่าใช้จ่ายในการใช้ค่อนข้างสูง มีผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่นที่ไม่ใช่เป้าหมายและต้องใช้อุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจงในการใช้ ถ้าใช้ในดินต้องคลุมดินด้วยแผ่นพลาสติก 2 อาทิตย์และปล่อยให้ก๊าซระเหยออกให้หมดก่อนปลูกพืช (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

5.2 ความเสี่ยงที่สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราจะส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชพัฒนาการดื้อยา (Risk of Fungicide Resistance) แบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

5.2.1 กลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำ (low risk fungicide) หมายถึงกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่ส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชพัฒนาการดื้อยาได้ต่ำ โดยเป็นกลุ่มสารที่ไม่มีรายงานว่าเชื้อราสาเหตุโรคพืชเกิดการดื้อยาหรือไม่พบว่าเชื้อราจะเกิดพัฒนาการที่จะก่อให้เกิดการดื้อยา ได้แก่สารเคมีป้องกันเชื้อราที่เข้าทำลายหลายจุดในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น สารในกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamate) เป็นต้น (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

5.2.2 กลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง (medium risk fungicide) หมายถึงกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่ส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชพัฒนาการดื้อยาได้ในระดับปานกลางหรือเป็นกลุ่มสารที่ยังไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มความเสี่ยงสูงหรือความเสี่ยงต่ำ รวมทั้งเป็นกลุ่มสารที่มีลักษณะการดื้อยาที่คล้ายคลึงกับที่พบในกลุ่มความเสี่ยงสูงแต่มีความรุนแรงน้อยกว่าโดยการดื้อยาจะเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015) โดยจะค่อยๆ เกิดการกลายพันธุ์ในแต่ละจุดที่สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยาและมีการคัดเลือกยีนต้านทานเป็นขั้นตอนเรียกว่า polygenic resistance หรือ multi-step resistance (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver, 2024) อาจพบการกลายพันธุ์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ดื้อยาหลังจากมีการขยายพันธุ์แบบใช้เพศหลายครั้งแต่เมื่อใช้สารเคมีในอัตราที่เหมาะสม สารเคมียังคงมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรค เช่น สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการขจัดหมู่เมทิลในกระบวนการชีวสังเคราะห์สเตอรอล สารกลุ่มอะนิลิโนไพริมิดีน (anilinopyrimidine) และกรดคาร์บอกซิลิก เอไมด์ (carboxylic acid amide) เป็นต้น (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver, 2024)

5.2.3 กลุ่มสารที่มีความเสี่ยงสูง (high risk fungicides) หมายถึงกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่ส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชพัฒนาการดื้อยาได้สูงเมื่อไม่มีการจัดการที่เหมาะสมหรือพบการดื้อยาระหว่างที่มีการใช้สารเคมีชนิดนั้นๆ ภายในเวลาอันรวดเร็วหรือหลังจากใช้สารเคมี 2-5 ปี มีลักษณะการดื้อยาโดยเกิดการกลายพันธุ์ที่ตำแหน่งที่สาร

เข้าทำปฏิกิริยา เชื้อราสาเหตุโรคพืชจะดื้อยาต่อสารเคมีทันทีเรียกว่า monogenic resistance หรือ discrete resistance (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver, 2024) สายพันธุ์เชื้อราที่ดื้อยาจะยังคงความรุนแรงในการก่อโรคหลังจากการสืบพันธุ์หลายครั้ง และการดื้อยาจะรุนแรงขึ้นเมื่อยังคงใช้สารเคมีต่อไปในพื้นที่เดิม รวมทั้งประสิทธิภาพของสารเคมีในการควบคุมโรคจะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อใช้เป็นสารตัวเดี่ยวในการฉีดพ่น เช่น สารในกลุ่มฟีนิลเอไมด์ (phenylamide) ไดคาร์บอกซิไมด์ (dicarboximide) และสารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของควิโนนของไซโทโครม บีซี$_1$ (cytochrome bc$_1$) ที่อยู่ด้านนอกของเยื่อหุ้มชั้นในไมโทคอนเดรีย (Quinone Outside Inhibitor, QoI) และสารกลุ่มเมทิล เบนซิมิดาโซล คาร์บาเมต (methyl benzimidazole carbamate) (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ดังนั้นจึงมีการก่อตั้งคณะกรรมการติดตามการดื้อยาของเชื้อราสาเหตุโรคพืชต่อสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราหรือ Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของบริษัทผู้ผลิตสารเคมีและองค์กรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อจัดแบ่งกลุ่มสารตามคุณสมบัติทางเคมีและกลไกการออกฤทธิ์ (mode of action) ที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือกระบวนการชีวสังเคราะห์ต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยจัดสารที่มีกลไกการออกฤทธิ์เหมือนกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน แบ่งเป็น FRAC Group 1-53, M, P และ U สารที่ชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน (host plant defense induction) สารที่มีฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุด (multi-site action) และสารที่ไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ (unknown mode of action) โดยจะมีการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยทุกปี การจัดแบ่งกลุ่มสาร FRAC นี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกษตรกรใช้สารในกลุ่ม FRAC เดียวกันหลายครั้งติดต่อกัน เช่น ถ้าใช้สารคาร์เบนดาซิมซึ่งจัดอยู่ใน FRAC Group 1 ฉีดพ่นในการป้องกันกำจัดโรคพืช ควรใช้เพียง 2 ครั้งต่อ 1 ฤดูปลูกและถ้าประสงค์จะใช้สารเคมีในการควบคุมเชื้อราในแปลงเดิมอีก ควรเปลี่ยนไปใช้สารที่อยู่ FRAC Group กลุ่มอื่นแทนที่สารในกลุ่ม FRAC Group 1 (FRAC, 2025) โดย FRAC ได้จัดทำแผนภาพในการแบ่งกลุ่มสารเคมีโดยมีการระบุกลุ่มของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราตามกลไกการออกฤทธิ์ ระบุเอนไซม์เป้าหมาย ชื่อกลุ่มสารตาม FRAC สูตรโครงสร้าง ชื่อสารและหมายเลข FRAC Group ดังตัวอย่างภาพที่ 5.1 โดยแบ่งเป็น 13 กลุ่มใหญ่ตามกลไกการออกฤทธิ์ (FRAC, 2025) ดังนี้



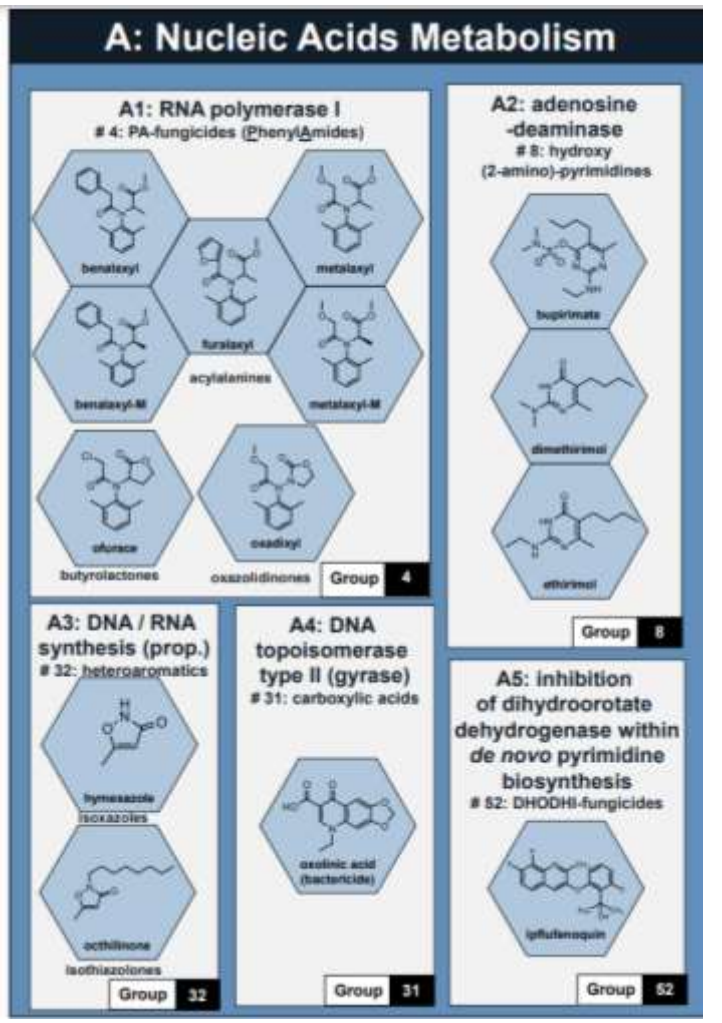
ภาพที่ 5.1 ภาพแสดงการจัดกลุ่มสารเคมีตามกลไกการออกฤทธิ์
ที่มา: ดัดแปลงจาก FRAC (2025)

5.3 การแบ่งกลุ่มสารเคมีโดยกลไกการออกฤทธิ์ (Fungicidal Classification by Mode of Action)

5.3.1 กลุ่ม A สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิค (A: Nucleic Acids Metabolism)

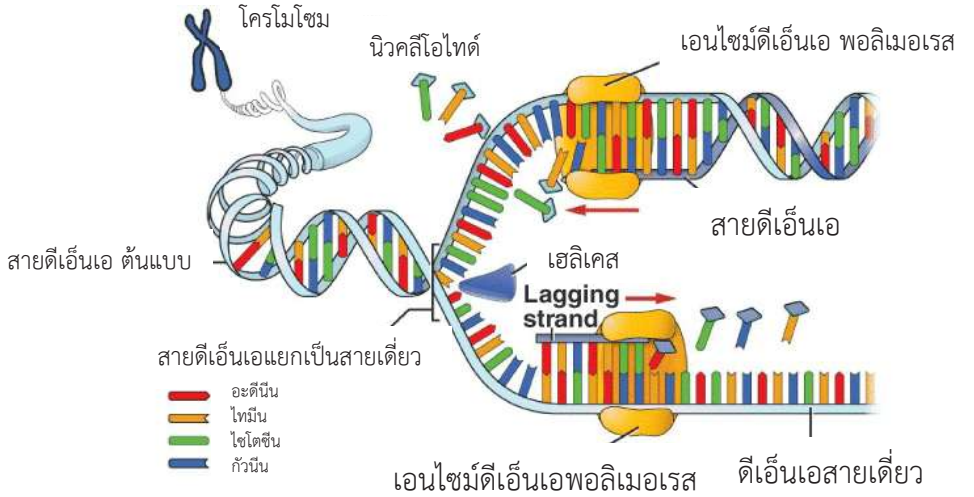
สารในกลุ่มนี้จะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของกรดนิวคลีอิค (nucleic acid) ของเชื้อราและแบคทีเรียสาเหตุโรคพืชโดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มย่อย (ภาพที่ 5.2) ได้แก่ กลุ่ม A1 หรือ FRAC Group 4 สารในกลุ่มนี้จะมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดีเอ็นเอ พอลิเมอเรส (DNA polymerase) ที่ทำหน้าที่แยกสายของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิกหรือดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid (DNA)) เป็นสายเดี่ยวในการสังเคราะห์อาร์ อาร์เอ็นเอ (rRNA (5.8S, 18S, 28S)) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไรโบโซม (ribosome) เพื่อสังเคราะห์อาร์เอ็นเอจากสายดีเอ็นเอ (DNA) ต้นแบบ (ภาพที่ 5.3) (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้จะทำให้เชื้อราไม่สามารถสร้างอาร์เอ็นเอส่งผลทำให้การสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์เชื้อราไม่สมบูรณ์ สารในกลุ่มนี้ได้แก่สารกลุ่มฟีนิล เอไมด์ ใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชในไฟลัม Oomycota ได้ดี เช่น *Phytophthora*, *Pythium* และเชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้าง (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

โดยสารในกลุ่ม A1 หรือ FRAC Group 4 เป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงสูงที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชจะพัฒนาการดื้อยาโดยเฉพาะในเชื้อราในไฟลัม Oomycota และสามารถเกิดการดื้อยาข้าม (cross resistance) ได้ด้วย การดื้อยาข้ามคือการที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชชนิดใดชนิดหนึ่งเมื่อพัฒนาการดื้อยากับสารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่งแล้วจะสามารถดื้อยากับสารทุกชนิดที่อยู่กลุ่ม FRAC เดียวกับสารที่ดื้อยา (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)



ภาพที่ 5.2 แสดงสารในกลุ่ม A สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิค

ที่มา: FRAC (2025)



ภาพที่ 5.3 แสดงการทำงานของเอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส วัน (RNA polymerase I) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ (RNA) จากสายดีเอ็นเอ (DNA) ต้นแบบ
ที่มา: ดัดแปลงจาก Cheng *et al*. (2023)

ในประเทศไทยมีสารในกลุ่มนี้จำหน่ายในสูตรเมทาแลกซิล 35% DS เมทาแลกซิล 25% WP และสูตรผสมเบนาแลกซิล เอ็ม (benalaxyl-M) + แมนโคเซบ 4% + 65% WG เพื่อใช้ควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าและโรคราน้ำค้างของพืชผักและไม้ผลหลายชนิด (ตารางที่ 5.2) (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Vielba-Fernández *et al*., 2020)

กลุ่ม A2 หรือ FRAC Group 8 เป็นกลุ่มสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะดิโนซีน ดีอะมิเนส (adenosine deaminase) ส่งผลให้อะดีโนซีน (adenosine) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นอิโนซีน (inosine) รวมทั้งดิ-อะดีโนซีน (d-adenosine) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นดิ-อิโนซีน (d-inosine) ในกระบวนการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกส่งผลให้หยุดการสร้างกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020) สารในกลุ่มนี้ได้แก่ บิวพิริเมต (bupirimate) ไดเมททิริมอล (dimethirimol) และเอ็ททิริมอล (ethirimol) ใช้ในการควบคุมโรคราแป้งของไม้ดอก ไม้ผล และพืชผัก เป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง พบการดื้อยาข้ามในเชื้อราสาเหตุโรค

ราแป้ง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) นอกจากนี้สารเอ็ททิริมอล ยังใช้คลุกเมล็ดเพื่อควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้า สารในกลุ่มนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ตารางที่ 5.2 โรคพืชที่ใช้สารเมทาแลกซิลและบีนาแลกซิลในการป้องกันกำจัด

รูปแบบ	**พืช**	**โรคพืช**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
เมทาแลกซิล 35% DS	ข้าวโพด	ราน้ำค้าง	*Peronosclerospora sorghi*
	คะน้า	ราน้ำค้าง	*Peronospora parasitica*
	แตง	ราน้ำค้าง	*Pseudoperonospora cubensis*
	สับปะรด	ยอดเน่า	*Phytophthora nicotianae*
เมทาแลกซิล 25% WP	กล้วยไม้	เน่าเข้าไส้หรือเน่าดำ	*Phytophthora palmivora*
	ทุเรียน	รากเน่าโคนเน่า	*Phytophthora palmivora*
	ผักบุ้ง	ราสนิมขาว	*Albugo ipomoeae-aquaticae*
	เผือก	ใบไหม้	*Phytophthora colocasiae*
	พืชตระกูลแตง	ราน้ำค้าง	*Pseudoperonospora cubensis*
	ยางพารา	เส้นดำ	*Phytophthora palmivora*
บีนาแลกซิล เอ็ม + แมนโคเซบ 4% + 65% WG	ข้าวโพด	ราน้ำค้าง	*Peronosclerospora sorghi*
	พืชตระกูลแตง	ราน้ำค้าง	*Pseudoperonospora cubensis*
	มันฝรั่ง	ใบไหม้	*Phytophthora infestans*
	ส้ม	รากและโคนเน่า	*Phytophthora parasitica*
	องุ่น	ราน้ำค้าง	*Plasmopara viticola*

ที่มา: ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

กลุ่ม A3 หรือ FRAC Group 32 สารในกลุ่มนี้คาดว่ามีฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์ดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอแต่ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด เช่น สารไฮเมกซาโซล ใช้คลุกเมล็ดเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชในดิน ได้แก่โรคโคนเน่าในยาสูบ พืชผัก ไม้ผล และไม้ดอกไม้ประดับที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* spp. และ *Pythium* spp. สารในกลุ่มนี้ยังไม่มีรายงานการดื้อยาและไม่ทราบระดับความเสี่ยง (El-Baky and Amara, 2021;

Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารไฮเมกซาโซลสามารถเคลื่อนที่สู่ด้านบนของต้นพืชได้ มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรไฮเมกซาโซล 36% SL ใช้ป้องกันกำจัดเชื้อรา *Fusarium* spp. และ *Pythium* spp. ในยาสูบ พืชผักและไม้ดอกไม้ประดับ ส่วนสารออกทิลิโนนไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (อรพรรณ, 2552; Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม A4 หรือ FRAC Group 31 เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดีเอ็นเอ โทโปไอโซเมอเรส ชนิด II (DNA topoisomerase type II หรือ gyrase) และ กลุ่ม A5 หรือ FRAC Group 52 เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับชีวสังเคราะห์ไพริมิดีน (pyrimidine) นับเป็นสารกลุ่มใหม่ที่มีรายงานในปี ค.ศ. 2023 ซึ่งพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคที่ดื้อยาต่อสารเคมีชนิดอื่น สารในกลุ่ม A4 และ A5 ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

5.3.2 กลุ่ม B สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของโปรตีนในส่วนไซโตสเกเลตันและมอเตอร์ (B: Cytoskeleton and Motor Protein)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่มนี้จะส่งผลยับยั้งการรวมตัวของเบต้า-ทูบูลิน (β-tubulin) กับ แอลฟา-ทูบูลิน (α-tubulin) ส่งผลต่อโครงสร้างของเซลล์ ไซโตสเกเลตัน โปรตีนและการเคลื่อนที่ของเซลล์ แบ่งเป็น 7 กลุ่มย่อย (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) ดังนี้

กลุ่ม B1 หรือ FRAC Group 1 มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการรวมตัวของเบต้า-ทูบูลิน โดยสารจะจับกับเบต้า-ทูบูลิน ไม่ให้มารวมกับแอลฟา-ทูบูลินเพื่อต่อกันเป็นวงยาวเป็นเส้นหรือแท่งกลวงเพื่อสร้างเป็นไมโครทูบูล (microtubule) เชื้อรามีการสร้างไมโครทูบูลหลายชนิดเพื่อใช้ในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส หรือใช้เป็นโครงร่างของเซลล์ให้มีความยืดหยุ่น รวมทั้งเป็นส่วนประกอบในซีเลีย (cillia) และแฟลเจลลัม (flagellum) ทำหน้าที่หมุนเพื่อให้ซูโอสปอร์ของเชื้อราในไฟลัม Oomycota สามารถเคลื่อนที่ได้ (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้จึงมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราหลายชนิดในไฟลัม Oomycota และ Ascomycota โดย

จะยับยั้งการแบ่งเซลล์และการเจริญของเชื้อรา เช่น สารคาร์เบนดาซิมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา *Fusarium graminearum* สายพันธุ์ต่างๆ ที่แยกได้จากข้าวและข้าวสาลีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Gisi and Sierotzki, 2015; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

พบการดื้อยาในเชื้อราหลายชนิดต่อสารในกลุ่มนี้ โดยเกิดการกลายพันธุ์ที่ตำแหน่งที่สารเข้าทำปฏิกิริยาในยีนเบต้า-ทูบูลินโดยเปลี่ยนจากกรดกลูตามิก (glutamic acid) เป็นอะลานีน (alanine) ไกลซีน (glycine) หรือ ไลซีน (lysine) ที่ตำแหน่ง 198 และเปลี่ยนจากฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) เป็นไทโรซีน (tyrosine) ที่ตำแหน่ง 200 ในยีนเบต้า-ทูบูลิน นอกจากนี้ยังมีรายงานการดื้อยาข้ามสารในกลุ่มเดียวกัน แต่ไม่พบการดื้อยาข้ามกลุ่มกับสารกลุ่มเอ็น-ฟีนิลคาร์บอเมต (N-phenylcarbamate) สารในกลุ่มนี้จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงสูง (Jianbo and Shi, 2014; Cortaga *et al*., 2023; Yin *et al*., 2023) สารในกลุ่มนี้มี 2 กลุ่มหลัก ได้แก่สารกลุ่มเบนซิมิดาโซล (benzimidazole) และสารกลุ่มไทโอฟาเนต (thiophanate)

5.3.2.1 สารกลุ่มเบนซิมิดาโซล ได้แก่ไทอะเบนดาโซล คาร์เบนดาซิม เบโนมิล (benomyl) และฟูเบอริดาโซล (fuberidazole) มีฤทธิ์ในการควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราหลายชนิด เมื่อฉีดพ่นไปยังผิวพืชสารจะเปลี่ยนรูปเป็นสารเมทิล เบนซิมิดาโซล คาร์บาเมต (methyl benzimidazole carbamate) ซึ่งเป็นรูปที่มีพิษซึมเข้าสู่เซลล์พืชเพื่อไปเกาะที่เบต้า-ทูบูลินในเซลล์เชื้อราทำให้เบต้า-ทูบูลินไม่สามารถรวมตัวกับเอลฟา-ทูบูลิน (Vela-Corcia *et al*., 2018; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022) เบโนมิลเป็นสารที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคราแป้งของพืชทุกชนิด รวมทั้งสามารถควบคุมโรคดอกสนิม โรคผลเน่า โรคเน่าคอดิน โรคใบจุด โรคราดำ และโรคใบไหม้ สารเบโนมิลนอกจากจะใช้ฉีดพ่นทางใบแล้วยังใช้เป็นสารคลุกเมล็ด แช่รากและใส่ไปตามร่อง รวมทั้งใช้จุ่มผลไม้เพื่อควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว (Gisi and Sierotzki, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022) ในประเทศไทยมีจำหน่ายแบบสารเดี่ยวในสูตรเบโนมิล 50% WP

ส่วนสารคาร์เบนดาซิมสามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนส ใบจุด ใบขีด ใบไหม้ในข้าวและพืชหลายชนิด มีฤทธิ์ต่อการแบ่งนิวเคลียสในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) ประเทศไทยใช้สารคาร์เบนดาซิมจำนวนมากโดยมีสถิติการนำเข้าในปี พ.ศ. 2568 จำนวนกว่า 2,615 ตัน ซึ่งเป็นปริมาณการนำเข้าเป็นอันดับ 1 สารคาร์เบนดาซิมมีจำหน่ายในประเทศไทยทั้งแบบสารเดี่ยวและสารผสมในการควบคุมโรคพืชหลายชนิด (ตารางที่ 5.3) (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022)

ตารางที่ 5.3 โรคพืชที่ใช้สารคาร์เบนดาซิมในการป้องกันกำจัด

รูปแบบ	**พืช**	**โรคพืช**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
คาร์เบนดาซิม 50% SC	กล้วยไม้	ใบปื้นเหลือง	*Pseudocercospora dendrobii*
	ข้าว	ไหม้	*Pyricularia oryzae*
		กาบใบแห้ง	*Rhizoctonia solani*, *Thanatephorus cucumeris*
		เมล็ดด่าง	*Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Fusarium incarnatum*
		ถอดฝักดาบ	*Fusarium fujikuroi*
	หน่อไม้ฝรั่ง	ต้นไหม้	*Phomopsis asparagi*
	หอมแดง	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
คาร์เบนดาซิม 50% WP	กุยช่าย หอมแดง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	ข้าว	ใบขีดสีน้ำตาล	*Sphaerulina oryzina*
คาร์เบนดาซิม + โพรคลอราซ 8% + 30% WP	ถั่วเหลือง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum truncatum*
	มะม่วง	ราแป้ง	*Oidium mangiferae*
		แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

5.3.2.2 สารกลุ่มไทโอฟาเนท สารในกลุ่มนี้มีเพียงสารไทโอฟาเนท-เมทิลที่มีจำหน่ายในประเทศไทยในรูปแบบสารเดี่ยว ไทโอฟาเนท-เมทิล 70% WP และไทโอฟาเนท-เมทิล 50% SC จัดเป็นสารป้องกันและยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช

ในช่วงเริ่มต้น (ธิดา, 2559; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) โดยใช้ควบคุมโรคใบจุดและใบไหม้ในข้าว โรคสแคป โรคราสีชมพู โรคเถาแห้งและผลเน่าในไม้ผล (ตารางที่ 5.4) (อรพรรณ, 2552; Liu *et al*., 2017; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022)

ตารางที่ 5.4 โรคพืชที่ใช้สารไทโอฟาเนท-เมทิลในการควบคุม

รูปแบบ	**พืช**	**โรค**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
ไทโอฟาเนท- เมทิล 70% WP	ข้าว	ใบขีดสีน้ำตาล	*Cercospora oryzae*
		ไหม้	*Pyricularia oryzae*
	ส้ม	สแคป	*Elsinoe fawcettii*
		เมลาโนส	*Phyllosticta citricarpa*
		ราสีชมพู	*Corticium salmonicolor*
ไทโอฟาเนท- เมทิล 50% SC	ทุเรียน	ราสีชมพู	*Corticium salmonicolor*
	องุ่น	เถาแห้งและผลเน่า	*Melanconium fuligineum*, *Greeneria uvicola*
		เน่าดำ	*Macrophomina phaseolina*

ที่มา: ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

กลุ่ม B2 หรือ FRAC Group 10 สารในกลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์เช่นเดียวกับสารในกลุ่ม B1 มีสารชนิดเดียวในกลุ่มนี้คือสารไดเอ็ทโทเฟนคาร์บ (diethofencarb) เป็นสารที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ดื้อยาต่อสารในกลุ่ม B1 เช่น *Botrytis cinerea* จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงสูงที่เชื้อจะเกิดการดื้อยาได้ง่ายแต่ไม่เกิดการดื้อยาข้ามกลุ่มกับสารกลุ่มเบนซิมิดาโซล สารชนิดนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Jianbo and Shi, 2014; Cortaga *et al*., 2023; Yin *et al*., 2023)

กลุ่ม B3 หรือ FRAC Group 22 สารในกลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์เช่นเดียวกับสารในกลุ่ม B1 โดยยับยั้งการรวมตัวของเบต้า-ทูบูลินในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ทำให้การแบ่งนิวเคลียสไม่สมบูรณ์ ส่งผลต่อการงอกและทำให้การเจริญเติบโตของเส้นใยผิดปกติ มีสาร 2 ชนิดในกลุ่มนี้คือสารโซซาไมด์ (zoxamide) ใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรค

พืชในไฟลัม Oomycota (Gisi and Sierotzki, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) เช่น โรคใบไหม้ในมันฝรั่งและราน้ำค้างในองุ่นและผัก รวมทั้งมีฤทธิ์ป้องกันกำจัดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Venturia*, *Sclerotinia*, *Pseudocercospora*, *Botrytis* และ *Monilinia* และสารอีทาบอกแซม (ethaboxam) จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) มีจำหน่ายในประเทศไทยเฉพาะสารอีทาบอกแซมในสูตรอีทาบอกแซม 10.4% SC ใช้ฉีดพ่นหรือคลุกเมล็ดเพื่อป้องกันกำจัดโรคราน้ำค้างในพืชตระกูลแตง ผักกินใบ โรคใบไหม้ในมันฝรั่งและมะเขือเทศ (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม B4 หรือ FRAC Group 23 สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการแบ่งเซลล์แต่ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่ชัด คาดว่ามีฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งเซลล์โดยส่งผลยับยั้งการทำงานของไซโทสเกเลตอล (cytoskeleton) ที่มีส่วนประกอบของไมโครทูบูลส่งผลให้การสร้างเส้นใยของเชื้อราผิดปกติ (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) มีสารชนิดเดียวในกลุ่มนี้คือสารเพนไซคูรอน ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟีนิลยูเรีย (phenylurea) ใช้ในการป้องกันโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia* spp. สาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าว โรคใบติดของทุเรียน โรครากเน่าโคนเน่าของต้นกล้าของพืชหลายชนิด สารในกลุ่มนี้ยังไม่ทราบระดับการดื้อยา (Oliver and Hewitt, 2014; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม B5 หรือ FRAC Group 43 สารในกลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของโปรตีนคล้ายสะเพคตริน (spectrin-like protein) ในซูโอสปอร์และเส้นใยเชื้อรา มี 2 สารในกลุ่มนี้คือ สารฟลูโอพิโคไลด์ (fluopicolide) และสารฟลูโอพิโมไมด์ (fluopimomide) ใช้ควบคุมโรคราน้ำค้างของแตงกวา องุ่น และใบไหม้ของมันฝรั่งที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora infestans* (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มสารที่ความเสี่ยงปานกลาง เนื่องจากพบการดื้อยาในเชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้างของ

องุ่น (Jianbo and Shi, 2014; Cortaga *et al*., 2023; Yin *et al*., 2023) มีจำหน่ายในประเทศไทยในแบบสูตรผสมของสารฟลูโอพิโคไลด์ + ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม 4.4% + 66.7% WG ใช้ป้องกันกำจัดโรคราน้ำค้างในพืชตระกูลแตง คะน้า หอม และพืชผักอื่นๆ (ธิดา, 2559; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม B6 หรือ FRAC Group 47/50 สารในกลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์ต่อแอคติน (actin) ไมโอซิน (myosin) และ ไฟบริน (fimbrin) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยในการหดและคลายตัวของโครงร่างของเซลล์ สารในกลุ่มนี้คือสารฟีนามาคริล (phenamacril) ใช้ในการควบคุมโรคพืชที่เกิดจาก *Fusarium* spp. ในข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์และข้าวโพด (Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) ขณะที่สารมีทราฟีโนน (metrafenone) และไพริฟีโนน (pyriofenone) ใช้ในการควบคุมโรคราแป้งขององุ่นและพืชผัก พบการดื้อยาต่อสารฟีนามาคริลในเชื้อรา *Fusarium graminearum* จึงจัดสารฟีนามาคริลอยู่ในกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลางถึงสูง ขณะที่สารมีทราฟีโนนและไพริฟีโนนมาคริลจัดอยู่ในกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง เนื่องจากพบการดื้อยาในเชื้อรา *Blumeria* และ *Sphaerotheca* สารในกลุ่มนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Cortaga *et al*., 2023; Yin *et al*., 2023)

กลุ่ม B7 หรือ FRAC Group 53 สารในกลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของทูบูลิน เป็นสารที่มีรายงานในปี ค.ศ. 2019 มีสารชนิดเดียวในกลุ่มนี้คือสารไพริดาคลอเมทิล (pyridachlometyl) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราหลายชนิดในชั้น Ascomycetes และ Basidiomycetes จัดอยู่ในกลุ่มสารที่ความเสี่ยงสูง สารนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Cortaga *et al*., 2023; Yin *et al*., 2023)

5.3.3 กลุ่ม C สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการหายใจ (C: Respiration)

สารในกลุ่ม C มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการหายใจ (respiration) ของเชื้อราในไมโทคอนเดรีย การหายใจเกิดจากการขนส่งอิเล็กตรอนที่เยื่อหุ้มชั้นในไมโทคอนเดรียและพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) นำไปสังเคราะห์อะดิโนซีน ไตรฟอสเฟตหรือเอทีพี (adenosine triphosphate, ATP) จากอะดิโนซีน ไดฟอสเฟต (adenosine diphosphate, ADP) และฟอสเฟต (phosphate, Pi) เพื่อ

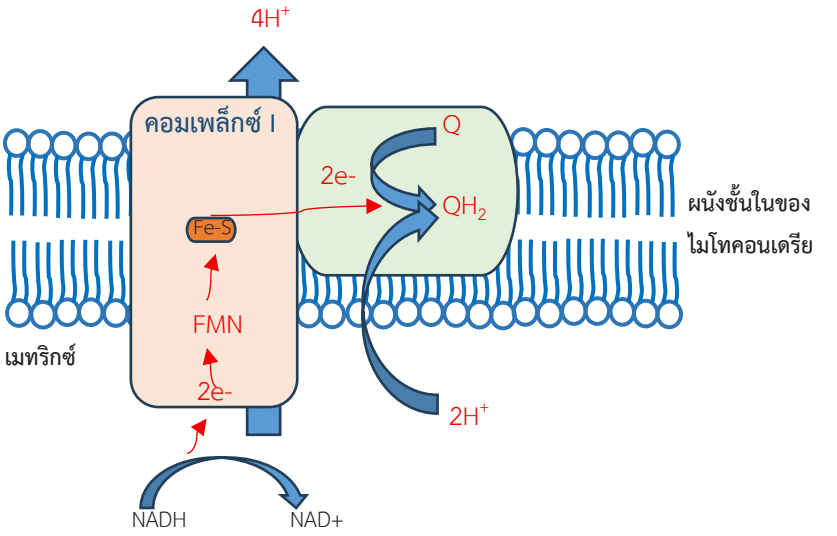
นำไปใช้ในกระบวนการชีวสังเคราะห์สารต่างๆ ในการเจริญเติบโตและสร้างสปอร์ของเชื้อรา โดยการขนส่งอิเล็กตรอนจะขนส่งอิเล็กตรอนผ่านคอมเพล็กซ์ (complex) ต่างๆ 5 คอมเพล็กซ์ (Sierotzki, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Gasmi *et al*., 2021) ดังนี้

1. คอมเพล็กซ์ I: เอ็นเอดีเฮช ออกซิโดรีดักเทส
   (Complex I: NADH oxidoreductase)
2. คอมเพล็กซ์ II: ซัคซิเนต-ดีไฮโดรจีเนส
   (Complex II: succinate-dehydrogenase)
3. คอมเพล็กซ์ III: ยูบิควิโนน-ไซโตโครม ซี ออกซิโดรีดักเทส
   (Complex III: ubiquinol-cytochrome c oxidoreductase)
4. คอมเพล็กซ์ IV: ไซโครม ซี ออกซิเดส (Complex IV: cytochrome c oxidase)
5. คอมเพล็กซ์ V: เอทีพี ซินเทส (Complex V: ATP synthase)

ซึ่งในระหว่างการขนส่งอิเล็กตรอนในแต่ละคอมเพล็กซ์จะมีการปั๊มโปรตรอน (H^+) จากเมทริกซ์ (matrix) ไปยังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและชั้นในของไมโทคอนเดรีย เมื่อความเข้มข้นของโปรตรอนบริเวณช่องว่างมากขึ้นโปรตรอนจะไหลกลับเข้ามาในส่วนเมทริกซ์ผ่านทางคอมเพล็กซ์ V เอทีพี ซินเทส และมีการสังเคราะห์อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต ควบคู่ไปด้วยเรียกกระบวนการนี้ว่าออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation) (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Sierotzki, 2015; Gasmi *et al*., 2021) สารในกลุ่มนี้ประกอบ 8 กลุ่มย่อยดังนี้

กลุ่ม C1 หรือ FRAC Group 39 สารกลุ่มนี้จะออกฤทธิ์ยับยั้งในส่วนของเอนไซม์ในคอมเพล็กซ์ I: เอ็นเอดีเฮช ออกซิโดรีดักเทส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีลักษณะคล้ายรูปตัวแอล กลุ่มเอนไซม์นี้มีฟลาวิน โคแฟกเตอร์ (flavin cofactor (FMN)) และไอรอน ซัลเฟอร์ เซ็นเตอร์ (iron sulfur center (Fe-S)) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการขนส่งอิเล็กตรอนจาก นิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์หรือเอ็นเอดีเฮช (nicotinamide adenine dinucleotide (NADH)) ไปยังยูบิควิโนน (ubiquinone, Q) (ภาพที่ 5.4) ซึ่งการรับส่งอิเล็กตรอน 2 ตัว

จากเอ็นเอดีเฮชไปยังยูบิควิโนนใน คอมเพล็กซ์ I ทำให้เกิดการปั๊มโปรตอน 4 ตัว จากด้านในคือแมทริกซ์ผ่านเยื่อหุ้มชั้นในไมโทคอนเดรียออกไปอยู่ที่ช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย (Stammler *et al*., 2015; Steinberg and Gurr, 2020; Gasmi *et al*., 2021; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)



ภาพที่ 5.4 คอมเพล็กซ์ I: เอ็นเอดีเฮช ออกซิโดรีดักเทส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gasmi *et al.* (2021)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม C1 ได้แก่สารไดฟลูเมทโทริม (diflumetorim) ใช้ควบคุมโรคราสนิมของข้าวบาร์เลย์ที่เกิดจากเชื้อรา *Puccinia horiana* เป็นสารที่มีฤทธิ์ป้องกันและยับยั้งการเข้าทำลาย โดยสารจะยับยั้งได้ตั้งแต่การงอกของสปอร์จนถึงการสร้างสปอร์ สารโทลเฟนไพแรด (tolfenpyrad) และสารฟีนาซาควิน (fenazaquin) ใช้ป้องกันกำจัดโรคราแป้ง รวมทั้งมีฤทธิ์ฆ่าไร สารในกลุ่มนี้ยังไม่ทราบระดับการดื้อยา (Ishii and Hollomon, 2015; Stammler *et al*., 2015; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020) มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรโทลเฟนไพแรด 16% EC และฟีนาซาควิน 20% SC แต่ไม่ได้ใช้ในการควบคุมโรคพืชแต่ใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช เช่น ด้วงหมัดผักแถบลาย หนอนใยผักในคะน้า เพลี้ยอ่อน เพลี้ยไก่แจ้ส้มในส้มเขียวหวาน เป็นต้น (ธิดา, 2559; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม C2 หรือ FRAC Group 7 สารในกลุ่มนี้จะออกฤทธิ์ยับยั้งในส่วนของเอนไซม์คอมเพล็กซ์ II: ซัคซิเนต-ดีไฮโดรจีเนส ซึ่งมีการขนส่งอิเล็กตรอนจากการออกซิไดซ์ซัคซิเนต (succinate) เป็นฟูมาเนต (fumarate) มีการขนส่งอิเล็กตรอน 2 ตัวให้กับไอรอน ซัลเฟอร์ เซ็นเตอร์ ซึ่งจะส่งอิเล็กตรอนต่อให้กับยูบิควิโนน พลังงานที่ได้ใน คอมเพล็กซ์ II นี้มีปริมาณน้อยจึงไม่มีการปั๊มโปรตอน (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้ในระยะใกล้และสามารถเคลื่อนที่สู่ด้านบนของต้นพืชได้ รวมทั้งสามารถถูกดูดซึมและเคลื่อนที่จากด้านบนใบไปใต้ใบ (translaminar)

สารในกลุ่ม C2 หรือ FRAC Group 7 พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมโรคพืชที่สำคัญของพืชไร่ มีทั้งหมด 24 สาร ถึงแม้จะเป็นสารในกลุ่มเดียวกันแต่มีวิธีการใช้และบทบาทในการควบคุมโรคพืชต่างกัน สารที่นิยมใช้ได้แก่สารบอสคาลิด (boscalid) ใช้ฉีดพ่นเพื่อควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Botrytis*, *Sclerotinia* และ *Alternaria* ส่วนสารคาร์บอกซิน ใช้คลุกเมล็ดเพื่อควบคุมโรคเขม่าดำที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Tilletia* และ *Mycosarcoma* รวมทั้งใช้ฉีดพ่นเพื่อควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช *Agroathelia rolfsii* และ *Rhizoctonia* ที่เข้าทำลายโคนต้นในพืชหลายชนิด (อรพรรณ, 2552; Oliver and Beckerman, 2022; Bai *et al*., 2024) ส่วนสารฟลูโทลานิล (flutolanil) ใช้คลุกเมล็ดหรือฉีดพ่นเพื่อควบคุมเชื้อรา *Rhizoctonia* และสารออกซีคาร์บอกซิน จะใช้ควบคุมโรคราสนิมของกาแฟที่เกิดจากเชื้อรา *Hemileia vastatrix* (Jeschke *et al*., 2019; Li e*t al*., 2021; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

สารอื่นๆ ในกลุ่มนี้ เช่น สารฟลูซาไพโรซอด (fluxapyroxad) ใช้ควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Oomycota, Ascomycota และ Zygomycota ในธัญพืช (Huang *et al*., 2021; Bai *et al*., 2024; Oliver, 2024) ขณะที่สารเฟนฟูแรม (fenfuram) ใช้คลุกเมล็ดธัญพืชเพื่อป้องกันกำจัดโรคเขม่าดำ สารในกลุ่มนี้มีเพียงสารเดียวที่มีจำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่คาร์บอกซิน 75%WP ใช้ป้องกันกำจัดโรคพืชหลายชนิด (ตารางที่ 5.5) (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) พบการ

ดื้อยาในเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิดในแปลงปลูกโดยพบการกลายพันธุ์ที่ยีนของเอนไซม์ซัคซิเนต-ดีไฮโดรจีเนส จึงจัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลางถึงสูง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015)

ตารางที่ 5.5 โรคพืชที่ใช้สารคาร์บอกซิน 75%WP ในการป้องกันกำจัด

พืช	**โรคพืช**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
กล้วย	ขั้วหวีเน่า	*Fusarium* sp., *Colletotrichum musae, Lasiodiplodia theobromae*
กล้วยไม้	ราเมล็ดผักกาด	*Agroathelia rolfsii*
	ต้นเน่า กาบใบเน่า	*Fusarium* sp., *Rhizoctonia* sp.
ข้าวโพด	เขม่าดำ	*Mycosarcoma maydis*
แตง	โคนเน่า	*Agroathelia rolfsii*
ถั่วลิสง	โคนเน่า	*Aspergillus niger*, *Lasiodiplodia* sp., *Rhizoctonia* sp.
ละหุ่ง	ต้นกล้าเน่า	*Choanephora cucurbitarum*, *Agroathelia rolfsii*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

กลุ่ม C3 หรือ FRAC Group 11/ 11A สารในกลุ่มนี้เป็นสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งในส่วนของคอมเพล็กซ์ III: ยูบิควิโนน-ไซโตโครม ซี ออกซิโดรีดักเทส ซึ่งประกอบด้วยไซโทโครม บี (cytochrome b) และไซโทโครม ซี1 (cytochrome c_1) เรียกโดยรวมว่าไซโทโครม บีซี$_1$ (cytochrome bc_1) และไอรอน ซัลเฟอร์ โปรตีน (iron sulfur protein (ISP)) รวมทั้งหมู่พรอสเธติก (prosthetic) ต่างๆ ทำหน้าที่ขนส่งอิเล็กตรอนจากยูบิควิโนนไปยังไซโทโครม ซี ควบคู่กับการเกิดวัฏจักรคิว (Q cycle) ซึ่งเป็นวงจรที่ยูบิควิโนนจะถูกออกซิไดซ์และรีดิวซ์ (Q และ QH_2) สลับกันเป็นวัฏจักร (Musso *et al*., 2020; Xiong *et al*., 2020; Hospital *et al*., 2023) เมื่อรับอิเล็กตรอน 2 ตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของยูบิควิโนน อิเล็กตรอนจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะส่งไปยังยูบิควิโนนที่อยู่ด้านในของเยื่อหุ้มชั้นในไมโทคอนเดรียที่เรียกว่า Qi site อีกส่วนหนึ่งจะส่งต่อไปยังไอรอน ซัลเฟอร์ เซ็นเตอร์ ซึ่งอยู่ในส่วน ไอรอน ซัลเฟอร์ โปรตีน และไซโทโครม ซีตามลำดับ ซึ่งไซโทโครม ซีจะมารับอิเล็กตรอนเพื่อส่งต่อไปยังคอมเพล็กซ์ IV ต่อไป (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารเคมี

ป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีฤทธิ์ต่อคอมเพล็กซ์ III ในไมโทคอนเดรียของเชื้อราได้แก่สารกลุ่มสโตรบิลูริน (strobilurin) ซึ่งเป็นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราได้หลายชนิด พบการดื้อยาในเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิดในแปลงปลูก จึงจัดสารในกลุ่มนี้เป็นสารที่มีความเสี่ยงสูง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015)

สารใน C3 หรือ FRAC Group 11/ 11A เป็นสารชนิดดูดซึมที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช ถึงแม้จะเป็นสารกลุ่มใหญ่แต่สารแต่ละชนิดจะมีฤทธิ์ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน เช่น สารฟามอกซาโดน (famoxadone) มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืชในไฟลัม Oomycota และ Ascomycota ที่เข้าทำลายพืชตระกูลแตงโดยเฉพาะ โดยสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022) สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติสามารถเคลื่อนย้ายในระยะใกล้ ถ้าหยดสารในกลุ่มนี้บนใบสารจะสามารถแพร่กระจายบนผิวใบตามชั้นคิวติเคิลไปยังส่วนอื่นๆ บนใบได้ สารบางชนิดสามารถเคลื่อนที่สู่ด้านบนของต้นพืชไปตามท่อน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนย้ายในรูปของก๊าซเหนือผิวใบแล้วอนุภาคของสารไปเกาะกับชั้นแว๊กซ์ (wax) ที่ผิวใบโดยสามารถควบคุมโรคได้นาน 7-21 วัน (อรพรรณ, 2554; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Rajeswari et al., 2024) สารในกลุ่มนี้มีขายในประเทศไทยหลายชนิดดังตารางที่ 5.6

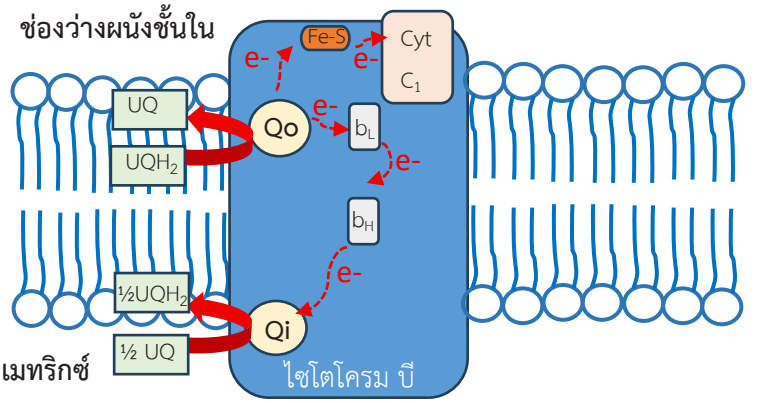
กลุ่ม C4 หรือ FRAC Group 21 สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของยูบิควิโนนของไซโทโครม บีซี1 ที่อยู่บริเวณด้านในของเยื่อหุ้มชั้นในไมโทคอนเดรีย (Qi site) หรือส่วนที่ยื่นเข้าไปในส่วนเมทริกซ์ (ภาพที่ 5.5) (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022; Hospital *et al*., 2023; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้ เช่น สารไซยาโซฟามิด (cyazofamid) สามารถควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในชั้น Oomycetes เช่น โรคราน้ำค้างในพืชตระกูลแตง ที่เกิดจากเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* โรคใบไหม้ในมันฝรั่ง โรคใบจุดตาเสือในเผือก และโรครากเน่าโคนเน่าในพืชผักไม้ผลหลายชนิดที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. สารใน

กลุ่มนี้ยังไม่ทราบระดับการดื้อยาที่แน่ชัดแต่คาดว่าเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลางถึงสูง (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Mehta *et al*., 2023; Oliver, 2024)

ตารางที่ 5.6 โรคพืชที่ใช้สารในกลุ่ม FRAC Group 11 ในการป้องกันกำจัด

รูปแบบ	**พืช**	**โรคพืช**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
อะซอกซีสโตรบิน 25% SC	ข้าว	กาบใบแห้ง	*Rhizoctonia solani*
	คะน้า	ใบจุดดำ	*Alternaria brassicicola*
	พริก มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* spp.
	หอมหัวใหญ่	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
อะซอกซีสโตรบิน + ไดฟีโนโคนาโซล 20% + 12.5% SC	ข้าว	ใบจุดสีน้ำตาล	*Bipolaris oryzae*
	พืชผักและไม้ผล	ราแป้ง	*Oidium* spp.
	พริก มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* spp.
	ผักบุ้ง	ราสนิมขาว	*Albugo ipomoea-aquaticae*
	หอม กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	อ้อย	ราเขม่า	*Sporisorium scitamineum*
ครีซอกซิม-เมทิล 50% DC	ข้าว	ใบจุดสีน้ำตาล	*Bipolaris oryzae*
	ไม้ผล ผัก ธัญพืช	ราแป้ง	*Oidium* spp.
	ส้ม มะนาว ส้มโอ องุ่น	สแคป	*Sphaceloma* sp.
ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% WG	ข้าว	เมล็ดด่าง	*Curvularia lunata, Bipolaris oryzae, Alternaria padwickii, Fusarium incarnatum*
	พริก มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* spp.
ไพราคลอสโตรบิน 25% EC	ข้าวโพด	ใบไหม้	*Bipolaris maydis*
	ทุเรียน	ใบติด	*Rhizoctonia solani*
	พริก	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* spp.
	หอม กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
ไซโปรโคนาโซล + พิคอกซีสโตรบิน 8% + 20% SC	ข้าว	เมล็ดด่าง	*Curvularia lunata, Bipolaris oryzae, Alternaria padwickii, Fusarium incarnatum*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)



ภาพที่ 5.5 คอมเพล็กซ์ III: ยูบิควิโนน-ไซโตโครม ซี ออกซิโดรีดักเทส
ที่มา: ดัดแปลงจาก Musso *et al*. (2020)

สารในกลุ่ม C4 หรือ FRAC Group 21 สามารถถูกดูดซึมในพืชได้เล็กน้อยและควรใช้ก่อนที่เชื้อราจะเข้าทำลาย (Ramusi *et al*., 2016; Ding *et al*., 2019; Vojinović *et al*., 2023) สารในกลุ่มนี้มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรไซยาโซฟามิด 40% EC และ ไซยาโซฟามิด 40% SC ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบไหม้ในมันฝรั่งและมะเขือเทศ โรคใบไหม้และโรคใบจุดตาเสือในเผือก และโรครากเน่าโคนเน่าในพริกไทย ทุเรียน มะละกอ ส้ม ส้มโอ มะนาว และสารอะมิซัลบรอม (amisulbrom) 20% SC ใช้ป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในไฟลัม Oomycota เช่น โรครากโคนเน่าในทุเรียน ส้ม มะละกอ โรคเน่าคอดินในผัก พริก มะเขือเทศและยาสูบ (อรพรรณ, 2554; ธิดา, 2559; Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม C5 หรือ FRAC Group 29 สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งกระบวนการออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชันของเอนไซม์เอทีพี ซินเทส ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตอะดิโนซีน ไตรฟอสเฟตโดยการเติมหมู่ฟอสเฟสหรือเกิดกระบวนการฟอสโฟรีเลชันให้กับอะดิโนซีน ไดฟอสเฟตเพื่อสร้างอะดิโนซีน ไตรฟอสเฟต (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Mehta *et al*., 2023) ซึ่งจากการขนส่งอิเล็กตรอนผ่านคอมเพล็กซ์ต่างๆ จะเกิดการปั๊มโปรตรอนจากเมทริกซ์ไปยังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและชั้นในไมโทคอนเดรียส่งผลให้ความเข้มข้นของโปรตอนที่อยู่ด้านนอกสูงกว่าความเข้มข้นของโปรตอนที่อยู่ในเมทริกซ์

มากเรียกว่ามี proton gradient เมื่อความเข้มข้นของโปรตรอนบริเวณช่องว่างมากขึ้น โปรตรอนจะไหลกลับเข้ามาในส่วนเมทริกซ์ผ่านทางเอนไซม์เอทีพี ซินเทส ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ส่วน Fo และ F1 (Jeschke *et al*., 2019; Mehta *et al*., 2023; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) ถ้าโปรตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเอนไซม์เอทีพี ซินเทสไปยังเมทริกซ์ เชื้อราก็ไม่สามารถผลิตอะดิโนซีน ไตรฟอสเฟตได้ สารในกลุ่มนี้เช่น ฟลูอะซินัม (fluazinum) จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เอทีพี ซินเทส ใช้ควบคุมโรคราสีเทาและโรคราน้ำค้าง พบการดื้อยาในเชื้อรา *Botrytis* จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงต่ำ (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015)

กลุ่ม C6 หรือ FRAC Group 30 สารในกลุ่มนี้เป็นสารประกอบอินทรีย์ดีบุก (organo tin compound) มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เอทีพี ซินเทส ในกระบวนการออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation) สารในกลุ่มนี้ได้เสื่อมความนิยมในการใช้เนื่องจากประกอบด้วยโลหะหนัก

กลุ่ม C7 หรือ FRAC Group 38 คาดว่าสารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการขัดขวางการขนส่งอะดิโนซีน ไตรฟอสเฟต แต่ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด มีสารชนิดเดียวในกลุ่มนี้คือสารสิลไทโอเฟม (silthiofam) สามารถควบคุมโรค take-all ของข้าวสาลีที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงต่ำ (Jeschke *et al*., 2019; Masiello *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม C8 หรือ FRAC Group 45 มีสารชนิดเดียวในกลุ่มนี้คือสารอมีทอคทราดิน (ametoctradin) มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของยูบิควิโนนของไซโทโครม บีซี$_1$ เช่นเดียวกับสารกลุ่ม C3 แต่จะจับกับส่วนของสติกมาเทลลิน (stigmatellin) ใช้ควบคุมโรคราน้ำค้างและใบไหม้ คาดว่ามีระดับความเสี่ยงปานกลางถึงสูง สารกลุ่ม C6-C8 ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Murray *et al*., 2016; Masiello *et al*., 2019; Moosavi *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

5.3.4 กลุ่ม D สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน (D: Amino Acid and Protein Synthesis)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม D แบ่งเป็น 5 กลุ่มย่อยได้แก่กลุ่ม D1 หรือ FRAC Group 9 สารในกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่แน่ชัด คาดว่าออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์กรดอะมิโนเมทไธโอนีน (methionine) โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซิสตาไธโอนีน แกมมาซินเทส (cystathionine gammasynthase) (Murray *et al*., 2016; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020) อย่างไรก็ตามพบการดื้อยาในเชื้อรา *Botrytis* และ *Venturia* จึงจัดเป็นกลุ่มสารที่มีระดับความเสี่ยงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) นอกจากนี้ยังใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ดื้อยาต่อสารในกลุ่มไดคาร์บอกซิไมด์และเบนซิมิดาโซล จัดเป็นสารชนิดดูดซึมโดยสามารถเคลื่อนที่สู่ด้านบนของต้นพืช สามารถควบคุมโรคได้นาน 7-14 วัน สารในกลุ่มนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (ธิดา, 2559; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม D2 หรือ FRAC Group 23 มีสารชนิดเดียวคือบลาสทิซิดิน-เอส (blasticidin-S) พัฒนาจากสารตั้งต้นที่ผลิตจากเชื้อ *Streptomyces griseochromogenes* มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนโดยไปเกาะที่ส่วนปลายของทีอาร์เอ็นเอ (tRNA) ส่งผลยับยั้งกระบวนการการแปลรหัส (translation) ภายในเซลล์เชื้อรา สามารถควบคุมโรคได้ในช่วงเริ่มต้นของการเข้าทำลาย ปัจจุบันสารในกลุ่มนี้ไม่มีจำหน่ายเพื่อการควบคุมโรคพืชในประเทศไทย (Svidritskiy *et al*., 2013; Steinberg and Gurr, 2020; Lee and Kim, 2022; Oliver and Beckerman, 2022; Zhang *et al*., 2023)

สารกลุ่ม D3 หรือ FRAC Group 24 สารคาซูกาไมซิน (kasugamycin) พัฒนาจากสารตั้งต้นที่ผลิตจากเชื้อ *Streptomyces kasugaensis* สารนี้มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนโดยยับยั้งในกระบวนการสร้างสารโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ในช่วง

ต้นของการแปลรหัส พบการดื้อยาในเชื้อราและแบคทีเรีย *Burkholderia glumae* เป็นสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; El-Baky and Amara, 2021; Oliver, 2024) มีจำหน่ายในประเทศไทยในแบบสารเดี่ยวได้แก่คาซูกาไมซิน ไฮโดรคลอไรด์ ไฮเดรต 2% SL ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบไหม้และโรคไหม้คอรวง (neck blast) ในข้าวและโรคแอนแทรคโนสในมะเขือเทศและพริก (อรพรรณ, 2552; Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) โดยสารจะไปยับยั้งการสร้างเส้นใยและยับยั้งการงอกของสปอร์ ทำให้แผลไม่ลุกลาม หยุดยั้งการระบาดได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งโรคพืชที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดแบคทีเรียและโรคแคงเกอร์ในส้ม โดยใช้สลับกับสาร FRAC Group 3 เช่น ทีบูโคนาโซล โพรพิโคนาโซล เฮกซะโคนาโซลหรือโพรคลอราช และสารกลุ่ม FRAC Group 11 เช่น อะซอกซีสโตรบิน ไพราโคลสโตรบินและไตรฟอกซีสโตรบิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดและป้องกันการดื้อยา (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม D4 หรือ FRAC Group 25 สารสเตร็ปโตมัยซิน (streptomycin) เป็นสารที่พัฒนามาจากสารตั้งต้นที่ผลิตมาจากเชื้อ *Streptomyces griseus* สารสามารถเกาะที่ไรโบโซมของเชื้อแบคทีเรียและขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์สารโพลีเปปไทด์ในช่วงต้นของการแปลรหัส (Jeschke *et al*., 2019; Musso *et al*., 2020) เช่นเดียวกับสารกลุ่ม D3 นิยมใช้ฉีดพ่นเพื่อป้องกันกำจัดเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคใบจุด ใบไหม้และผลเน่า รวมทั้งใช้ราดดินหรือจุ่มหัวพันธุ์เพื่อป้องกันโรคพืชที่มีสาเหตุจากเชื้อ *Xanthomonas* spp. และใช้แช่เมล็ดเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรียในถั่วชนิดต่างๆ ฝ้าย ผักกาดและธัญพืช จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงสูง (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022; El-Baky and Amara, 2021; Lee and Kim, 2022) ปัจจุบันสารในกลุ่มนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากเกิดการดื้อยาในเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคพืชหลายชนิด (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม D5 หรือ FRAC Group 26 สารกลุ่มเตตระไซคลิน (tetracycline) เป็นสารปฏิชีวนะที่พัฒนามาจากสารตั้งต้นที่ผลิตมาจากเชื้อ *Streptomyces* spp. มีฤทธิ์ควบคุมเชื้อแบคทีเรียและเชื้อมอลลิคิวต์ (mollicute) (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Lee and Kim, 2022) โดยสารเตตระไซคลินจะไปเกาะที่บริเวณไรโบโซมของเชื้อแบคทีเรียส่งผลให้เกิดการยับยั้งกระบวนการสร้างสารโพลีเปปไทด์ สารในกลุ่มนี้คือสารออกซีเตตระไซคลิน (oxytetracycline) ใช้ในการควบคุมโรคใบไหม้ของแอปเปิลและแพร์ในช่วงออกดอก จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงสูงที่ส่งผลให้เชื้อสาเหตุโรคพืชเกิดการดื้อยา (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Musso *et al*., 2020; Oliver, 2024)

5.3.5 กลุ่ม E สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณเข้าสู่เซลล์ (E: Signal Transduction)

สารในกลุ่มนี้จะออกฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณเข้าสู่เซลล์เชื้อราเมื่อมีความเครียดจากภายนอกเซลล์อันเนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ความเครียดจากแรงดันออสโมซิส (osmotic stress) หรือเมื่อมีแรงดันที่ผนังเซลล์จากการเข้าทำลายของเชื้อปฏิปักษ์ เป็นต้น แรงดันจะส่งผลให้ตัวรับสัญญาณที่พลาสมา เมมเบรนของเชื้อราส่งสัญญาณไปยังโปรตีนที่ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณ โดยโปรตีนที่รับ-ส่งสัญญาณแต่ละชนิดจะมีความจำเพาะเจาะจงกับสัญญาณที่เกี่ยวข้อง (Xiong *et al*., 2020; González-Rubio *et al*., 2022) สัญญาณจะถูกส่งต่อๆ กันไปยังนิวเคลียสเพื่อตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดขึ้นเรียกกระบวนการนี้ว่า singal transduction ตัวรับสัญญาณที่พบในผนังเซลล์เชื้อราทุกชนิดคือจี-โปรตีน (G-protein) (Kück, 2022; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรับสัญญาณเกี่ยวกับแรงดันน้ำหรือค่ากรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลง เมื่อจี-โปรตีนรับสัญญาณแล้วจะส่งต่อสัญญาณไปยัง heterotrimeric G-protein ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณและส่งต่อไปเอนไซม์อะดินิลไซเคส (adenylcyclase) และไคเนส (kinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาสื่อประสาทเพื่อส่งสัญญาณต่อไปยังนิวเคลียส (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022) นอกจากนี้เมื่อเชื้อรา

สาเหตุโรคพืชมีความเครียดจากปฏิสัมพันธ์กับพืชอาศัย เชื้อราจะส่งสัญญาณไปตามระบบการส่งสัญญาณเพื่อกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดขึ้น โดยจะส่งสัญญาณไปยังกลุ่มเอนไซม์ฮีสติดีน ไคเนส (histidine kinase) ที่พลาสมา เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจับสัญญาณ จากนั้นสัญญาณจะส่งต่อไปยังโปรตีนต่างๆ ได้แก่ YPD1, SSK1 และ SSK2/SSK22 ตามลำดับ (Jeschke *et al*., 2019; Xiong *et al*., 2020; González-Rubio *et al*., 2022; Kück, 2022)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณเข้าสู่เซลล์นี้มี 3 กลุ่มย่อย ได้แก่สารกลุ่ม E1 หรือ FRAC Group 13 กลุ่มอะซาแนปทาลีน (azanaphthalene) มีฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณที่จี-โปรตีนแต่ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด เช่น สารควิโนไซเฟน (quinoxyfen) และโพรควินาซิด (proquinazid) ใช้ฉีดพ่นป้องกันการเข้าทำลายของโรคราแป้งของธัญพืชและพืชใบกว้างหลายชนิด สารนี้ส่งผลต่อการเจริญของท่อเจริญและการสร้างแอพเพรสโซเรียมเพื่อเข้าทำลายพืชของเชื้อรา (Fujimura *et al*., 2015; Matthias Hahn and Leroch, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022) ไม่พบการเกิดการดื้อยาข้ามกับสารกลุ่มอื่นที่มีฤทธิ์ควบคุมโรคราแป้งเหมือนกัน เช่น สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสเตอรอลหรือเอ็ททิริมอล (ethirimol) จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง มีรายงานพบการดื้อยาของเชื้อสาเหตุโรคพืชต่อสารควิโนไซเฟนในเชื้อราสาเหตุโรคราแป้ง *Erysiphe necator* แต่ไม่พบการต้านทานในเชื้อรา *Blumeria graminis* (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Kück, 2022; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) เป็นกลุ่มสารที่ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม E2 หรือ FRAC Group 12 กลุ่มฟีนิลไพรอล (phenylpyrrole) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ฮีสติดีน ไคเนส ที่มียีน *os-2* หรือ *HOG1* เท่านั้น ส่งผลต่อการงอกของสปอร์และการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา พบการดื้อยานานๆ ครั้ง จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Ishii and Hollomon, 2015;

Matthias Hahn, and Leroch, 2015; Kück, 2022; Oliver, 2024) มีสาร 2 ชนิดในกลุ่มนี้ได้แก่สารเฟนพิโคลนิล (fenpiclonil) และฟลูดิโอโซนิล (fludioxonil) ใช้คลุกเมล็ดธัญพืช เพื่อควบคุมโรคของเมล็ดพันธุ์ได้หลายชนิด อาจจะใช้ฉีดพ่นบ้างในพืชบางชนิด จัดเป็นสารชนิดไม่ดูดซึม สารในกลุ่มนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Brandhorst *et al*., 2019; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ส่วนสารในกลุ่ม E3 หรือ FRAC Group 2 คาร์บอกซิไมด์จะยับยั้งการทำงานของยีน *os-1* และ *Daf1* ซึ่งเป็นยีนในกลุ่มยีนรับส่งสัญญาณในเอนไซม์ฮีสติดีน ไคเนสเช่นกัน พบการดื้อยาในเชื้อรา *Botrytis* และเชื้อราสาเหตุโรคพืชบางชนิด โดยพบการกลายพันธุ์ที่ยีน *os-1* และเกิดการดื้อยาข้ามสารในกลุ่มเดียวกัน เป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลางถึงสูง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Kück, 2022) มีสารที่สำคัญในกลุ่มนี้คือสารไอโพรไดโอน (iprodione) เป็นสารที่สามารถควบคุมโรคพืชได้หลายชนิดโดยเฉพาะโรคทางใบในพืชผักและไม้ผลที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Alternaria* และ *Rhizoctonia* ได้ดี จัดเป็นสารชนิดสัมผัสตายและยับยั้งการเข้าทำลายในช่วงเริ่มต้น โดยยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของเส้นใย ส่วนใหญ่จะใช้ฉีดพ่นรวมทั้งใช้จุ่มผลไม้เพื่อป้องกันโรคที่เข้าทำลายหลังการเก็บเกี่ยว (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) ขณะที่สารวินโคลโซลิน (vinclozolin) จะใช้ควบคุมโรคพืชที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Alternaria*, *Botrytis* และ *Sclerotinia* จัดเป็นสารชนิดสัมผัสตายโดยมีฤทธิ์ป้องกันการเข้าทำลาย ส่วนใหญ่จะใช้ฉีดพ่นกับสตรอเบอร์รี่ ผักกะหล่ำ สนามหญ้า ไม้ดอกไม้ประดับและไม้ผล (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารอื่นๆ ในกลุ่มนี้คือไดเมททาโคลน (dimethachlone) ใช้ควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Sclerotinia sclerotiorum* และ โคลโซลิเนท (chlozolinate) ใช้ควบคุมโรคผลเน่า โรคราน้ำค้างและโรคเน่าของไม้ผล ผัก สตรอเบอร์รี่ ที่เกิดจากเชื้อรา *Botrytis*, *Monilia* และ *Sclerotinia* (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ส่วนสารโพรไซมิโดน (procymidone) ใช้ในการควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria*, *Botrytis* และ *Sclerotinia* เช่นกัน สารบางชนิดในกลุ่มไดคาร์บอกซิไมด์เป็นสารชนิดดูดซึมแบบเคลื่อนย้ายในระยะใกล้ (locally systemic property) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารและพืชแต่ละชนิด สามารถป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้นาน 14-21 วัน (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) มีสาร 2 ชนิดในกลุ่มนี้ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยคือสารไอโพรไดโอนและสารโพรไซมิโดนในรูปแบบสารเดี่ยวได้แก่ไอโพรไดโอน 50% WP และ โพรไซมิโดน 50% WP สามารถควบคุมโรคพืชได้หลายชนิด (ตารางที่ 5.7) (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

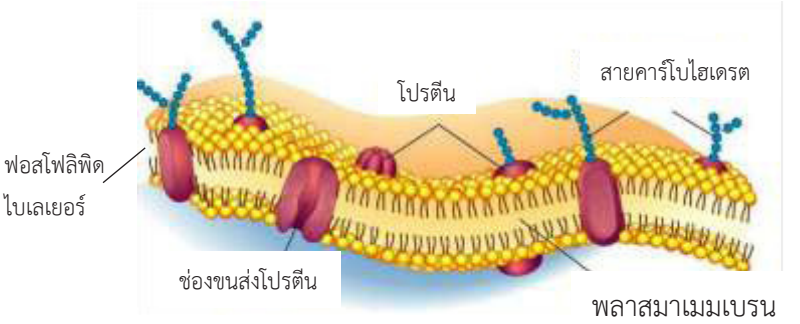
ตารางที่ 5.7 โรคพืชที่ใช้สารไอโพรไดโอนและโพรไซมิโดนในการป้องกันกำจัด

รูปแบบ	**พืช**	**โรค**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
ไอโพรไดโอน 50% WP	กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	กระเจี๊ยบเขียว	ฝักจุดฝักลาย	*Alternaria* sp., *Colletotrichum* spp.
	กะหล่ำปลี	ใบจุด	*Alternaria brassicae*
	ข้าว	กาบใบแห้ง	*Rhizoctonia solani*
	ทานตะวัน	ใบไหม้	*Alternaria alternata*
	ผักกาด คะน้า	ใบจุด	*Alternaria brassicicola*
	มะเขือเทศ	ใบจุด	*Alternaria solani*, *Stemphylium* sp.
	หอมแดง	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
โพรไซมิโดน 50% WP	กล้วยไม้	ดอกจุดสนิม	*Curvularia eragrostidis*
	มะม่วง สตรอเบอร์รี่	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	พริก	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum capsici*
	มะเขือเทศ	ใบไหม้	*Alternaria solani*
	หอมหัวใหญ่ กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

5.3.6 กลุ่ม F สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์หรือเคลื่อนย้ายไขมัน/ ส่งผลต่อความสมบูรณ์หรือหน้าที่ของเมมเบรน (F: Lipid Synthesis or Transport/ Membrane Integrity or Function)

พลาสมา เมมเบรนของเชื้อราจะมีไขมัน (lipid) เป็นส่วนประกอบอยู่ 30-40 เปอร์เซ็นต์ โดยมีฟอสโฟลิพิด (phospholipid) เป็นไขมันหลักและมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น สเตอรอล (sterol) ไกลโคลิพิด (glycolipid) และสปิงโกลิพิด (sphingolipid) เป็นต้น (ภาพที่ 5.6) โดยจะมีฟอสโฟลิพิด 2 ชนิดที่พบในเชื้อราทุกชนิดได้แก่ฟอสฟาติดิล คอลลีน (phosphatidyl choline) และฟอสฟาติดิล เอทาโนลามีน (phosphatidyl ethanolamine) กระบวนการชีวสังเคราะห์ของสารทั้ง 2 ชนิดมีสารตั้งต้นจากซิติดีน ไดฟอสเฟต-ไดเอซิลกลีเซอรอล (cytidine diphosphate–diacylglycerol) เป็นหลัก (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)



ภาพที่ 5.6 ส่วนประกอบต่างๆ ของพลาสมาเมมเบรนของเชื้อรา
ที่มา: ดัดแปลงจาก Peng and Chen (2024)

แต่เดิมสารในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 10 กลุ่มย่อย คือ F1-F10 แต่เมื่อมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจนทราบกลไกที่แน่ชัดก็ได้มีการย้ายสารบางกลุ่มไปไว้กับกลุ่มสารที่ถูกต้องเช่นมีการย้ายสารกลุ่ม F1 สารกลุ่มไดคาร์บอกซิไมด์ย้ายไปอยู่กลุ่ม E3 และกลุ่ม F6 กรดคาร์บอกซีลิก เอไมด์ (carboxylic acid amide) ไปอยู่กลุ่ม H5 สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่

ส่งผลต่อการสังเคราะห์ไขมัน เป็นต้น (Gisi and Sierotzki, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver, 2024)

ปัจจุบันมีสาร 6 กลุ่มย่อย ได้แก่กลุ่ม F2 หรือ FRAC Group 6 สารกลุ่มฟอสโฟโร-ไทโอเลต (phosphoro-thiolate) และไดไทโอเลน (dithiolane) เช่น สารไอโพรเบนฟอส (iprobenfos) และอีดิเฟนฟอส (edifenphos) มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เมทิลทรานสเฟอเรส (methyltransferase) ที่ทำหน้าที่เติมหมู่เมทิลให้สารต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิดในเซลล์เชื้อรา (Debieu and Leroux, 2015; Murray *et al*., 2016; Thind, 2021; Oliver and Beckerman, 2022) ส่งผลให้เชื้อราไม่สามารถสร้างพลาสมา เมมเบรนหรือผนังเซลล์ที่สมบูรณ์และมีผลต่อความแข็งแรงของพลาสมาเมมเบรนในเซลล์เชื้อรา เนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์ฟอสฟาติดิล คอลลีนได้ตามปกติ พบการดื้อยาในเชื้อราบางชนิด จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Murray *et al*., 2016; Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่มนี้จะใช้ในการควบคุมโรคของข้าว ยกเว้นสารไพราโซฟอสที่ใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคราแป้ง ประเทศไทยมีสารในกลุ่มนี้จำหน่ายในสูตรไอโซโพรไทโอเลน (isoprothiolane) 41.76% EC และอีดิเฟนฟอส 30.7% EC ใช้ในการป้องกันกำจัดโรคใบไหม้ โรคคอรวงไหม้หรือโรคเน่าคอรวง โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคกาบใบแห้งและโรคเมล็ดด่างของข้าว (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม F3 หรือ FRAC Group 14 อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) คาดว่าสารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต่อกระบวนการเปอร์ออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระ (radical molecule) ที่เป็นกลางหรือมีประจุลบไปให้โมเลกุลที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (non-radical molecule) แต่ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด (Jeschke et al., 2019; Steinberg and Gurr, 2020) พบการดื้อยาในเชื้อราสาเหตุโรคพืชบางชนิด จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015) สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารคลุกเมล็ดของ

พืชผักและพืชไร่เพื่อป้องกันเชื้อราสาเหตุโรคพืชในดินเข้าทำลายเมล็ดระหว่างเมล็ดงอกและหลังงอกได้แก่สารควินโตซีน (quintozene) ไดโคลแรน (dicloran) ไบฟีนิล (biphenyl) ทอคนาซีน (tecnazene) ทอลโคลฟอส-เมทิล (tolclofos-methyl) และโคลโรเนบ (chloroneb) (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) รวมทั้งใช้ฉีดพ่นหรือใส่ตามร่องเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา *Rhizoctonia*, *Fusarium* และ *Sclerotinia* ขณะที่สารในกลุ่ม 1,2,4-ไทอะไดเอโซล (1,2,4-thiadiazole) ได้แก่สารเอทไตรไดอะโซล (etridiazole) ใช้ผสมในวัสดุปลูกเพื่อป้องกันเมล็ดจากการเข้าทำลายของเชื้อราในไฟลัม Oomycota ได้แก่ *Phytophthora* และ *Pythium* ฤทธิ์ของสารในกลุ่มนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่คาดว่าจะส่งผลต่อการสังเคราะห์ไขมันและการสร้างพลาสมา เมมเบรนของเชื้อรา ซึ่งจะทำให้การเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราผิดปกติ สารในกลุ่มนี้สามารถเคลื่อนที่สู่ด้านบนของต้นพืชไปตามท่อน้ำได้ (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนที่ในรูปของก๊าซเหนือผิวใบ มีขายในประเทศไทยได้แก่ไดโคลแรน 75% WP ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบจุด โรคใบไหม้ โรคเน่าคอดิน โรครากเน่าโคนเน่า โรคราเมล็ดผักกาด ในพืชผัก พืชไร่ ไม้ผล และไม้ดอกไม้ประดับและสาร ควินโตซีน + อิไตรดิเอโซล (etridiazole) 24% + 6%EC ใช้คลุกเมล็ดสามารถป้องกำจัดเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าในดินได้แก่ *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp. และ *Agroathelia rolfsii* และสามารถใช้ฉีดพ่นลงดินหรือวัสดุปลูกเพื่อควบคุมโรคเหี่ยวในมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *A. rolfsii* และโรคกล้าเน่าในเบญจมาศที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium* sp. (อรพรรณ, 2552; Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม F4 หรือ FRAC Group 28 คาร์บาเมต (carbamate) สารในกลุ่มนี้คาดว่ามีผลต่อการลำเลียงสารหรือโมเลกุลต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane permeability) แต่ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด (Debieu and Leroux, 2015) จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Gisi and Sierotzki, 2015; Oliver and Beckerman,

2022; Oliver, 2024) มีสาร 3 ชนิดในกลุ่มนี้ใช้ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชในชั้น Oomycetes ได้แก่ *Pythium* และ *Phytophthora* สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าในพืชผัก สนามหญ้า ไม้ดอกไม้ประดับ รวมทั้งใช้ควบคุมโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง (Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารสามารถถูกดูดซึมโดยรากและใบเคลื่อนย้ายในต้นพืชสู่ด้านบนของต้นพืชได้ มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรโพรพาโมคาร์บ ไฮโดรคลอไรด์ (propamocarb hydrochloride) 72.2% SL ใช้ป้องกันกำจัดโรคเน่าดำหรือเน่าเข้าไส้ (black rot) ในกล้วยไม้ ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Phytophthora palmivora* รวมทั้งใช้ป้องกันกำจัดโรคเน่าคอดินที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Pythium* spp. และโรครากเน่าโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. (อรพรรณ, 2554; Scott *et al*., 2020; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม F8 หรือ FRAC Group 48 สารในกลุ่มนี้จะเป็นสารลิโปเปปไทด์ (lipopeptide) ที่ผลิตโดยแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* ซึ่งสามารถสร้างสารลิโปเปปไทด์ที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิว สารลิโปเปปไทด์ เช่น เซอแฟกทิน (surfactin) อิทูริน (iturin) และเฟนไจซิน (fengycin) จะส่งผลให้พลาสมา เมมเบรนของเชื้อราสาเหตุโรคพืชแตกหรือแยกออกจากกัน (Jeschke *et al*., 2019; Steinberg and Gurr, 2020) ปัจจุบันไม่ทราบระดับการดื้อยาของสารกลุ่มนี้ สารในกลุ่มนี้ได้แก่สารนาตามัยซิน (natamycin) หรือรู้จักกันดีในชื่อสารพิมาริซิน (pimaricin) เป็นสารที่ผลิตจากเชื้อ *Streptomyces* spp. เช่น *S. natalensis, S. chattanoogensis, S. gilvosporeus* และ *S. lydicus* สารนี้จะทำปฏิกิริยาที่จำเพาะกับเออโกสเตอรอลในพลาสมา เมมเบรนของเชื้อราทำให้ผนังเซลล์แตก สารนี้ถูกนำมาใช้ควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของไม้ผลที่เกิดจากเชื้อรา *Penicillium* และ *Colletotrichum* แต่ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (Prenafeta-Boldú *et al*., 2006; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

5.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการจัดจำแนกสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราตามกลไกการออกฤทธิ์และคุณสมบัติต่างๆ ลักษณะรูปแบบของสารเคมีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้แก่

สารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันเข้มข้น สารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันอนุภาคขนาดเล็ก สารเคมีชนิดสารละลายน้ำมันในน้ำ สารเคมีชนิดน้ำ สารเคมีชนิดสารแขวนลอยเข้มข้น สารเคมีชนิดผงผสมน้ำ สารเคมีชนิดผงละลายน้ำ สารเคมีชนิดเม็ดและสารเคมีชนิดรม รวมทั้งกล่าวถึงความเสี่ยงที่สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชจะส่งผลให้เชื้อราสาเหตุโรคพืช พัฒนาการดื้อยาที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับได้แก่กลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำ กลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลางและกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงสูง

การแบ่งกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราตามการจัดกลุ่มโดยคณะกรรมการติดตามการดื้อยาของเชื้อราสาเหตุโรคพืชต่อสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยป้องกันการดื้อยาของเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยได้จัดแบ่งกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา ตามกลไกการฤทธิ์ของสาร โดยสารที่มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดเดียวกันจะจัดอยู่กลุ่ม FRAC Group เหมือนกัน ปัจจุบันได้มีการจัดแบ่งกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราเป็นกลุ่มใหญ่ A-M และกลุ่มย่อย FRAC Group 1-53, FRAC M P และ U โดยในบทนี้มีรายละเอียดของสารกลุ่ม FRAC Group A-F ดังนี้

กลุ่ม A สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิค สารในกลุ่มนี้จะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิคของเชื้อราและแบคทีเรียสาเหตุโรคพืชโดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มย่อย

กลุ่ม B สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของโปรตีนในส่วนไซโตสเคิลตันและมอเตอร์ สารในกลุ่มนี้จะส่งผลยับยั้งการรวมตัวของเบต้า-ทูบูลิน กับ แอลฟา-ทูบูลินส่งผลต่อโครงสร้างของเซลล์ โปรตีน ไซโตสเคิลตันรวมทั้งการเคลื่อนที่ของเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช แบ่งเป็น 7 กลุ่มย่อย

กลุ่ม C สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการหายใจ สารในกลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการหายใจของเชื้อราในไมโทคอนเดรีย โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่เยื่อหุ้มชั้นในไมโทคอนเดรียซึ่งจะส่งผลให้เชื้อราไม่สามารถผลิตอะดิโนซีน ไตรฟอสเฟต ซึ่งเป็นพลังงานที่จะนำไปใช้ในกระบวนการชีวสังเคราะห์สารต่างๆ ในการเจริญเติบโตและสร้างสปอร์ของเชื้อรา แบ่งเป็น 8 กลุ่มย่อย

กลุ่ม D สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่มนี้แบ่งเป็น 5 กลุ่มย่อย มีฤทธิ์ในการยับยั้งกระบวนการชีว

สังเคราะห์กรดอะมิโนเมทไธโอนีน โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซิสตาไธโอนีน แกมมา ซินเทส ส่งผลต่อกระบวนการการแปลรหัสภายในเซลล์เชื้อรา รวมทั้งมีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์โพลีเปปไทด์

กลุ่ม E สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณเข้าสู่เซลล์ สารในกลุ่มนี้จะออกฤทธิ์ยับยั้งการส่งสัญญาณเข้าสู่เซลล์เชื้อราเมื่อมีความเครียดจากภายนอกเซลล์อันเนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม โดยยับยั้งการทำงานของยีนและเอนไซม์ที่ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณจากผนังเซลล์ไปยังนิวเคลียส แบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย

กลุ่ม F สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์หรือเคลื่อนย้ายไขมันและส่งผลต่อความสมบูรณ์หรือหน้าที่ของพลาสมา เมมเบรนหรือเยื่อหุ้มเซลล์ สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งการสร้างฟอสโฟลิพิดซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของพลาสมา เมมเบรนของเชื้อราสาเหตุโรคพืชรวมทั้งยับยั้งการเคลื่อนย้ายไขมันระหว่างเซลล์ ส่งผลต่อความสมบูรณ์หรือหน้าที่ของพลาสมา เมมเบรนแบ่งเป็น 6 กลุ่มย่อย

5.5 เอกสารอ้างอิง

ธิดา เดชฮวบ. 2559. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช. บริษัท เอเชีย ดิจิทัล การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 195 หน้า.

ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา และพฤทธิชาติ ปุณวัฒโฑ. 2568. เอกสารวิชาการคำแนะนำการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จากงานวิจัย ปี 2568. โครงการวิจัยการเพิ่มขีดความสามารถการป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยลดการใช้สารเคมีเพื่อ เกษตรดีที่เหมาะสมอย่างยั่งยืน และโครงการวิจัยเทคโนโลยีการอารักขาพืชเพื่อแก้ปัญหาศัตรูพืชต้านทานและการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเกินความจำเป็นในระบบแปลงใหญ่. กรมวิชาการเกษตร. 287 หน้า.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2569. แหล่งที่มา: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386. วันที่สืบค้น 6 เมษายน 2569.

อรพรรณ วิเศษสังข์. 2552. คู่มือการเลือกใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืช. กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 128 หน้า.

Bai, S., Zhang, M., Tang, S., Li, M., Wu, R., Wan, S., Chen, L., Wei, X. and Li, F. 2024. Research progress on benzimidazole fungicides: a review. Molecules 29: 1218.

Brandhorst, T.T., Kean, I.R.L., Lawry, S.M., Wiesner, D.L. and Klein, B.S. 2019. Phenylpyrrole fungicides act on triosephosphate isomerase to induce methylglyoxal stress and alter hybrid histidine kinase activity. Scientific Reports 9: 5047.

Cheng, A.P., Lederer, B., Oberkofler, L., Huang, L., Johnson, N.R., Platten, F., Dunker, F., Tisserant, C. and Weiberg A. 2023. A fungal RNA-dependent RNA polymerase is a novel player in plant infection and cross-kingdom RNA interference. PLoS Pathogens 19(12): e1011885.

Cortaga, C.Q., Cordez, B.W.P., Dacones, L.S., Balendres, M.A.O. and Cueva, D.F.M. 2023. Mutations associated with fungicide resistance in *Colletotrichum* species: A Review. Phytoparasitica 51: 569–592

Debieu, D. and Leroux, P. 2015. Sterol Biosynthesis Inhibitors: C-4 Demethylation. In: Ishii, H. and Hollomon, D.W. (eds). Fungicide Resistance in Plant Pathogens: Principles and a Guide to Practical Management. Springer Tokyo, pp. 217–231.

Ding, S., Halterman, D.A., Meinholz, K. and Gevens, A.J. 2019. Distribution and stability of quinone outside inhibitor fungicide resistance in populations of potato pathogenic *Alternaria* spp. in Wisconsin. Plant Disease 103(8): 2033–2040.

El-Baky, N.A. and Amara, A.A.A.F. 2021. Recent approaches towards control of fungal diseases in plants: an updated review. Journal of Fungi (Basel) 7(11): 900.

FRAC. 2025. Classification of Fungicides. Available source: https://www.frac.info/media/a5vnynr3/frac-moa-poster-2024.pdf. Accessed on 18 April 2026.

Fujimura, M., Banno, S., Ichiishi, A. and Fukumori, F. 2015. Histidine Kinase Inhibitors. In: Ishii, H. and Hollomon, D.W. (eds). Fungicide Resistance in Plant Pathogens: Principles and a Guide to Practical Management. Springer Tokyo, pp. 181–197.

Gasmi, A., Peana, M., Arshad, M., Butnariu, M., Menzel, A. and Bjørklund, G. 2021. Krebs cycle: activators, inhibitors and their roles in the modulation of carcinogenesis. Archives of Toxicology 95 (4): 1161–1178.

Gisi, U. and Sierotzki, H. 2015. Oomycete fungicides: phenylamides, quinone outside inhibitors, and carboxylic acid amides. In: Ishii, H. and Hollomon, D.W. (eds). fungicide resistance in plant pathogens: principles and a guide to practical management. Springer Tokyo, pp. 145–174.

González-Rubio, G., Sastre-Vergara, L., Molina, M., Martín, H. and Fernández-Acero, T. 2022. Substrates of the MAPK Slt2: shaping yeast cell integrity. Journal of Fungi (Basel) 8(4): 368.

Hospital, C.D., Tête, A., Debizet, K., Imler, J., Tomkiewicz-Raulet, C., Blanc, E.B., Barouki, R., Coumoul, X. and Bortoli, S. 2023. SDHI fungicides: An example of mitotoxic pesticides targeting the succinate dehydrogenase complex. Environment International 180: 108219.

Ishii, H. and Hollomon, D.W. 2015. Fungicide Resistance in Plant Pathogens: Principles and a Guide to Practical Management. Springer Tokyo, 490 p.

Jianbo, Q. and Shi, J. 2014. Genetic relationships, carbendazim sensitivity and mycotoxin production of the *Fusarium Graminearum* populations from maize, wheat and rice in Eastern China. Toxins 6: 2291–2309.

Jeschke, P., Witschel, M., Krämer, W. and Schirmer, U. 2019. Modern Crop Protection Compounds. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 1692 p.

Kück, U. 2022. Signal Transductions in Fungi. Journal of Fungi (Basel) 8(5): 528.

Lee, J.H. and Kim, Y.C. 2022. Strobilurin fungicides activate plant defense against viral and bacterial infections and improve plant vigor. Journal of Plant Diseases and Protection 129: 1031–1040.

Li, S., Li, X., Zhang, H., Wang, Z. and Xu, H. 2021. The research progress in and perspectiveof potential fungicides: Succinate dehydrogenase inhibitors. Bioorganic & Medicinal Chemistry 50: 116476.

Luo, B. and Ning, Y. 2022. Comprehensive overview of carboxamide derivatives as succinate dehydrogenase inhibitors. Journal of Agricultural and Food Chemistry 70(4): 957–975.

Luo, X., Chen, Y., Wang, Y., Xing, Z., Peng, J., Yi, C. and Chen, J. 2023. Novel amide derivatives containing a pyridine moiety: design, synthesis as potential fungicides. Chemical Papers 77: 6299–6310.

Masiello, M., Somma, S., Ghionna, V., Logrieco, A.F. and Moretti, A. 2019. *In vitro* and in field response of different fungicides against *Aspergillus flavus* and *Fusarium* Species causing ear rot disease of maize. Toxins (Basel) 11(1): 11.

Matthias Hahn, M. and Leroch, M. 2015. Multidrug Efflux Transporters. In: Ishii, H. and Hollomon, D.W. (eds). Fungicide Resistance in Plant Pathogens: Principles and a Guide to Practical Management. Springer Tokyo, pp. 233–248.

Mehta, D., Saini, V. and Bajaj, A. 2023. Recent developments in membrane targeting antifungal agents to mitigate antifungal resistance. RSC Medicinal Chemistry 14: 1603–1628.

Moosavi, B., Berry, E., Zhu, X.-L., Yang, W.-Ch. and Yang, G.-F. 2019. The assembly of succinate dehydrogenase: a key enzyme in bioenergetics. Cellular and Molecular Life Sciences 76(20): 4023–4042.

Murray, R.K., Bender, D.A., Botham, K.M., Kennelly, P.J., Rodwell, V.W. and Weil, P.A. 2016. Harper's Illustrated Biochemistry, 29th ed. New York, NY: McGraw-Hill. 800 p.

Musso, L., Fabbrini, A. and Dallavalle, S. 2020. Natural compound-derived cytochrome bc1 complex inhibitors as antifungal agents. Molecules 25: 4582.

Oliver, R.P. 2024. Control of plant diseases. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 279–316.

Oliver R.P. and Beckerman, J.L. 2022. Fungicides in Practice. CABI. 248 p.

Oliver, R. and Hewitt, H.G. 2014. Fungicides in crop protection. CABI. 190 p.

Peng, Y. and Chen, B. 2024. Role of cell membrane homeostasis in the pathogenicity of pathogenic filamentous fungi. Virulence 15(1): 2299183.

Prenafeta-Boldú, F.X., Summerbell, R. and de Hoog, G.S. 2006. Fungi growing on aromatic hydrocarbons: biotechnology's unexpected encounter with biohazard? FEMS Microbiology Reviews 30(1): 109–130.

Ramusi, M., Waals, J.E., Labuschagne, N. and Aveling, T. 2016. Evaluation of mefenoxam and fludioxonil for control of *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* and *Fusarium solani* on cowpea. South African Journal of Plant and Soil 34: 1–7.

Rajeswari, E., Prasad, M.S., VidyaSagar, B., Madhav, M.S., Teja Bhushan, B. and Roseswara Rao, Y. 2024. Management of rice blast with modern combination fungicides against *Magnaporthe oryzae*. Vegetos 37: 321–328.

Scott, K., Eyre, M., McDuffee, D. and Dorrance, A.E. 2020. The efficacy of ethaboxam as a soybean seed treatment toward *Phytophthora*, *Phytopythium*, and *Pythium* in Ohio. Plant Disease 104: 5.

Sierotzki, H. 2015. Respiration Inhibitors: Complex III. In: Ishii, H. and Hollomon, D.W. (eds). Fungicide Resistance in Plant Pathogens: Principles and a Guide to Practical Management. Springer Tokyo, pp. 119-143.

Stammler, G., Wolf, A., Glaettli, A. and Klappach, K. 2015. Respiration inhibitors: complex II. In: Ishii, H. and Hollomon, D.W. (eds). Fungicide resistance in plant pathogens: principles and a guide to practical management. Springer Tokyo, pp. 105–117.

Steinberg, G. and Gurr, S.J. 2020. Fungi, fungicide discovery and global food security. Fungal Genetics and Biology 144: 103476.

Svidritskiy, E., Ling, C., Ermolenko, D.N., Andrei A. and Korostelev, A.A. 2013. Blasticidin S inhibits translation by trapping deformed tRNA on the ribosome. Proceedings of the National Academy of Sciences 110(30): 12283–12288.

Thind, T.S. 2021. Changing trends in discovery of new fungicides: a perspective. Indian Phytopathology 74: 875–883.

Vela-Corcía, D., Romero, D. and Vicente, A. 2018. Analysis of ß-tubulin-carbendazim interaction reveals that binding site for MBC fungicides does not include residues involved in fungicide resistance. Scientific Reports 8: 7161.

Vielba-Fernández, A., Polonio, Á., Ruiz-Jiménez, L., de Vicente, A., Pérez-García, A. and Fernández-Ortuño, D. 2020. Fungicide resistance in powdery mildew fungi. Microorganisms 8(9): 1431.

Vojinović, U.D., Adamović, J., Ivanović, M.M. and Stević, M.Ž. 2023. Occurrence of resistance in field populations of *Erysiphe necator* to QoI, azanaphthalene and aryl-phenyl-ketone fungicides in Serbia. Crop Protection 173: 106359.

Xiong, H., Liu, X., Fan, Y., Luan, S. and Huang, Q. 2020. Effect of membrane integrity on survival competition of *Botrytis cinerea* upon QoI fungicide pyraclostrobin. Journal of Phytopathology 168(10): 601–608.

Yin, Y., Miao, J., Shao, W., Liu, X., Zhao, Y. and Ma, Z. 2023. Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management. Phytopathology 113(4).

บทที่ 6
คุณสมบัติของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่ม FRAC G-M
(Property of Fungicide in FRAC G-M)

ในบทนี้จะต่อเนื่องจากบทที่ 5 จะกล่าวถึงคุณสมบัติและกลไกการออกฤทธิ์ของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืช กลุ่ม G-M ดังนี้

6.1 กลุ่ม G: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งชีวสังเคราะห์สเตอรอลในพลาสมาเมมเบรน (G: Sterol Biosynthesis in Membrane)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์สเตอรอล (Sterol Biosynthesis Inhibitor, SBI) ในพลาสมา เมมเบรนของเชื้อราเป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากการสังเคราะห์สเตอรอลในพลาสมา เมมเบรนของเชื้อรามีกระบวนการสังเคราะห์ที่แตกต่างกับของพืชและสัตว์ (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) จึงทำให้สามารถพัฒนาสารในกลุ่มนี้ให้ส่งผลต่อเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เป็นเป้าหมายได้จำนวนมาก เมื่อเชื้อราไม่สามารถสร้างสเตอรอลได้จะส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่สร้างขึ้นใหม่ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ซึ่งเชื้อราที่อยู่ในในไฟลัม Ascomycota และ Basidiomycota จะมีการสังเคราะห์เออโกสเตอรอลในเชื้อราทุกชนิด (Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

สารในกลุ่มนี้มี 48 ชนิดใช้แพร่หลายทั่วโลกและเนื่องจากมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เฉพาะชนิด สารแต่ละกลุ่มจึงยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยสามารถควบคุมเชื้อราที่เข้าทำลายพืชทั้งในระยะเริ่มต้น รวมทั้งมีฤทธิ์กำจัดเชื้อราที่เข้าทำลายพืชแล้ว (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ได้แก่

กลุ่ม G1 หรือ FRAC Group 3 มีฤทธิ์ยับยั้งการขจัดหมู่เมทิล (Demethylation Inhibitor) ในกระบวนการสังเคราะห์สเตอรอล สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสเตอรอลโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซี14-ดิเมทิลเลส (C14-demethylase (*erg 11*)) ในกระบวนการชีวสังเคราะห์สเตอรอลส่งผลให้สารลาโนสเตอรอล (lanosterol) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสาร 4,4-ไดเมทิลโคลเลสตา-8,14,24-ไตรเอนอล (4,4-dimethylcholesta-8,14,24-trienol) สารชนิดแรกในกลุ่มนี้คือสารไตรอะริมอล (triarimol) มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสเตอรอลในผนังเซลล์เชื้อรา *Mycosarcoma maydis* ออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 1973 (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) แบ่งเป็นสาร 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

6.1.1 กลุ่มอิมิดาโซล (Imidazole) มีสารในกลุ่มนี้ 10 ชนิด สามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนส โรคใบจุด และราแป้งของพืชใบกว้างและไม้ดอกไม้ประดับ สารสำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่โพรคลอราซ ใช้ควบคุมโรคแอนแทรคโนสของพืชผักและไม้ผลที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* spp. สารพีฟูราโซน (pefurazone) ใช้ควบคุมโรคเมล็ดพันธุ์ของข้าว เช่นเชื้อรา *Fusarium fujikuroi* สาเหตุโรคถอดฝักดาบ เชื้อรา *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลและเชื้อรา *Pyricularia oryzae* สาเหตุโรคไหม้ของข้าว (Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) และสารออกโพโคลนาโซล (oxpoconazole) เป็นสารที่ออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 2000 สามารถใช้ควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* และ *Rhizoctonia solani* ที่เข้าทำลายข้าวในช่วงต้นกล้า รวมทั้งสามารถควบคุมเชื้อรา *Botrytis cinerea* ในแปลงปลูกพืชหลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mercer, 1991; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

6.1.2 กลุ่มไตรเอโซล (Triazole)

สารในกลุ่มนี้เป็นสารกลุ่มใหญ่มีสารจำนวน 26 ชนิด สารที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะพัฒนาและออกสู่ตลาดในช่วงปี ค.ศ. 1990 สารชนิดแรกในกลุ่มนี้คือไตรอะดิมีฟอน ใช้ในการควบคุมโรคราสนิมและใบจุด รวมทั้งใช้ควบคุมโรคของเมล็ดพันธุ์ในธัญพืช ต่อมามีการพัฒนาสารไบเทอร์ทานอล (bitertanol) และไตรอะดิมีนอล (triadimenol) (Mohsin *et*

al., 2021; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) โดยสารไบเทอร์ทานอลเป็นสารที่ใช้ฉีดพ่นเพื่อควบคุมโรคสแคปของแอปเปิลที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อ *Venturia inaequalis* และโรคใบจุดดำสีกะตองกาของกล้วยที่เกิดจากเชื้อ *Pseudocercospora fijiensis* รวมทั้งใช้ควบคุมเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ เช่น เชื้อรา *Microdochium nivale*, *Tilletia caris* และ *Tilletia controversa* (Oliver, 2024) สารโพรพิโคนาโซล เป็นสารที่มีฤทธิ์ควบคุมโรคใบจุดในพืชหลายชนิด เช่น กล้วยและธัญพืช สารเพนโคนาโซล (penconazole) ใช้ควบคุมโรคในพืชใบกว้าง เช่น โรคราแป้งในแอปเปิล องุ่น และพืชผัก สารทีบูโคนาโซลมีฤทธิ์ควบคุมโรคของธัญพืชหลายชนิด รวมทั้งใช้ฉีดพ่นในถั่วลิสง กล้วย ถั่วเหลือง และป้องกันโรคเมล็ดพันธุ์อื่นๆ (Mercer, 1991; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

พบการดื้อยาในเชื้อราหลายชนิดกับสารในกลุ่มนี้ โดยมีการกลายพันธุ์ที่ยีน *cyp51* (*erg 11*) รวมทั้งมีการกลายพันธุ์ที่กลุ่มโปรตีนขนาดใหญ่ที่ฝังตัวอยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นขนส่งสาร (ABC transporter) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบการดื้อยาข้ามสารระหว่างสารในกลุ่มนี้แต่ไม่พบการดื้อยาข้ามกลุ่มหรือดื้อยาต่อสารในกลุ่มชนิดอื่นๆ จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้นับว่ามีความสำคัญเนื่องจากมีจำหน่ายในประเทศไทยหลายชนิดเพื่อใช้ควบคุมโรคพืชหลายชนิด (ตารางที่ 6.1)

ตารางที่ 6.1 สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรากลุ่ม G1 หรือ FRAC Group 3 ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการขจัดหมู่เมทิลในกระบวนการสังเคราะห์สเตอรอลในการป้องกันกำจัดโรคพืช

รูปแบบ	**พืช**	**โรคพืช**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
ไดฟีโนโคนาโซล 25% EC	กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	กุหลาบ	ใบจุด	*Marssonina rosae*, *Cercospora rosicola*
	ถั่วฝักยาว	ใบจุด	*Pseudocercospora cruenta*
	เบญจมาศ	ราสนิมขาว	*Puccinia horiana*
	ผักกาด	ใบจุด	*Alternaria brassicicola*
	มะเขือเทศ	ใบจุด	*Alternaria solani*, *Stemphylium* sp.
	มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	สตรอเบอร์รี่	ใบจุด	*Ramularia tulasnei*
	ส้ม	เมลาโนส	*Diaporthe citri*
	หอมแดง	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	หอมหัวใหญ่	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	องุ่น	เถาแห้งและผลเน่า	*Melanconium fuligineum*, *Greeneria uvicola*
เฮกซะโคนาโซล5% SC	ข้าว	กาบใบแห้ง	*Rhizoctonia solani*,
		เมล็ดด่าง	*Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Fusarium incarnatum*
	เงาะ	ราแป้ง	*Oidium* sp.
	ถั่วเหลือง	เมล็ดสีม่วง	*Cercospora kikuchii*
	เบญจมาศ	ราสนิมขาว	*Puccinia horiana*
	มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	หอมหัวใหญ่	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	องุ่น	ราน้ำค้าง	*Plasmopara viticola*
ฟลูซิลาโซล 40% EC	กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	ข้าว	กาบใบแห้ง	*Rhizoctonia solani*, *Thanatephorus cucumeris*
		เมล็ดด่าง	*Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Fusarium semitectum*, *Cercospora oryzae*
	องุ่น	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*

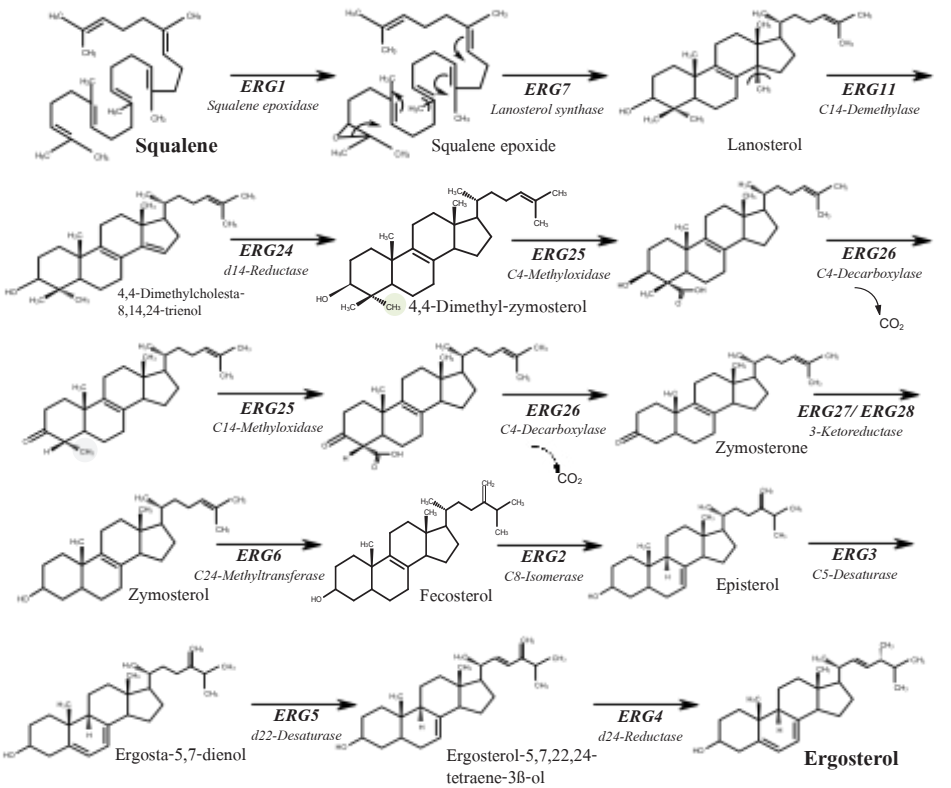
ตารางที่ 6.1 สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรากลุ่ม G1 หรือ FRAC Group 3 ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการขจัดหมู่เมทิลในกระบวนการสังเคราะห์สเตอรอลในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช (ต่อ)

รูปแบบ	**พืช**	**โรคพืช**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**
โพรพิโคนาโซล 25% EC	ข้าว	เมล็ดด่าง	*Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Fusarium incarnatum*
		ใบขีดสีน้ำตาล	*Cercospora oryzae*
	ทุเรียน	ใบติด	*Rhizoctonia solani*
	เบญจมาศ	ราสนิมขาว	*Puccinia horiana*
ทีบูโคนาโซล 43% SC	กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	ข้าว	เมล็ดด่าง	*Bipolaris oryzae, Curvularia lunata, Fusarium semitectum*
		กาบใบแห้ง	*Rhizoctonia solani*
	หอมแดง	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
ไตรไซคลาโซล 75% WP	ข้าว	ไหม้	*Pyricularia oryzae*
	มะนาว	แคงเกอร์	*Xanthomonas campestris* pv. *citri*
โพรคลอราซ 45% EC	กระเจี๊ยบเขียว กระเทียม	ฝักจุดฝักลายใบจุดสีม่วง	*Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. *Alternaria porri*
	กุหลาบ	ใบจุด	*Marssonina rosae*, *Cercospora rosicola*
	ข้าว	ไหม้	*Pyricularia oryzae*
		ถอดฝักดาบ	*Fusarium moniliforme*
	เงาะ	ช่อดอกแห้ง	*Curvularia* sp., *Cladosporium* sp.
	พริก	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum capsici*
	มะเขือเทศ	ใบจุด	*Alternaria solani*, *Stemphylium* sp.
	มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	หอม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	หอมหัวใหญ่	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
ไตรฟอรีน 19%EC	ข้าว	ไหม้	*Pyricularia oryzae*
	เงาะ	ราแป้ง	*Oidium* sp.

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

กลุ่ม G2 หรือ FRAC Group 6 สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งชีวสังเคราะห์สเตอรอลในพลาสมา เมมเบรน Class II หรือเอมีน (amine)

สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์สเตอรอลแตกต่างกัน เช่น สารไตรดีมอร์ฟ (tridemorph) จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ $\Delta^8 \rightarrow \Delta^7$ ไอโซเมอเรส (isomerase (*ERG 2*)) ทำให้สารฟีโคสเตอรอล (fecosterol) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสารอีพิสเตอรอล (episterol) ขณะที่สารเฟนโพรพิมอร์ฟ (fenpropimorph) จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Δ^4 รีดักเทส (Δ^4 reductase (*ERG 24*)) ทำให้สาร 4,4-ไดเมทิลโคลเลสตา-8,14,24-ไตรอีนอล (4,4-dimethylcholesta-8,14,24-trienol) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสาร 4,4-ไดเมทิล-ไซโมสเตอรอล (4,4-dimethyl-zymosterol) ในกระบวนการสังเคราะห์เออโกสเตอรอล (ภาพที่ 6.1) (Jeschke *et al*., 2019; Oliver, 2024)



ภาพที่ 6.1 กระบวนการชีวสังเคราะห์สารเออโกสเตอรอล

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hu *et al*. (2017)

สารในกลุ่ม G2 แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยได้แก่สารในกลุ่มมอโฟลีน (morpholine) และไพเพอริดีน (piperidine) สารในกลุ่มมอโฟลีน เช่น สารโดดีมอร์ฟ (dodemorph) ใช้ควบคุมโรคราแป้งในไม้ดอกไม้ประดับ และสารไตรดีมอร์ฟ (tridemorph) ใช้ควบคุมโรคราแป้งในธัญพืช เมื่อเชื้อราสาเหตุโรคราแป้งเกิดการดื้อยาต่อสารในกลุ่มไตรเอโซลจึงมีการพัฒนาสารกลุ่มมอโฟลีนชนิดใหม่คือเฟนโพรพิมอร์ฟ และสไพโรซามีน (spiroxamine) สารสไพโรซามีนออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 1996 (Debieu *et al*., 2001; Bhattacharya *et al*., 2018; Chen *et al*., 2022) ใช้ป้องกันกำจัดโรคราแป้งของธัญพืชและองุ่น รวมทั้งโรคใบจุดดำสิกะตองกาของกล้วยที่เกิดจากเชื้อรา *Pseudocercospora fijiensis* พบการดื้อยาในเชื้อราสาเหตุโรคราแป้งและมีการดื้อยาระหว่างสารในกลุ่มเดียวกัน แต่ไม่พบการดื้อยาข้ามกลุ่มหรือดื้อยาต่อสาร กลุ่มอื่นๆ จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม G3 หรือ FRAC Group 17 สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งชีวสังเคราะห์สเตอรอลในเยื่อหุ้มเซลล์ Class III

ในระหว่างที่บริษัทไบเออร์กำลังพัฒนาสารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของหญ้าเพื่อจะพัฒนาเป็นสารกำจัดวัชพืช ได้พบสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Botrytis cinerea* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงพัฒนาเป็นสารเฟนฮีซามิด (fenhexamid) ออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 1998 มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 3-คีโต-รีดักเทส (3-keto reductase (*ERG 27*)) ทำให้สาร 4,4-ไดเมทิล-ไซโมสเตอรอล (4,4-dimethyl-zymosterol) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสารไซโมสเตอรอลในกระบวนการชีวสังเคราะห์เออโกสเตอรอลในเซลล์เชื้อรา (ภาพที่ 6.1) (Debieu *et al*., 2001; Bhattacharya *et al*., 2018; Chen *et al*., 2022) สารนี้สามารถใช้ควบคุมเชื้อรา *Botrytis cinerea*, *Monilinia* spp. และ *Sclerotinia sclerotiorum* ได้อย่างมีประสิทธิภาพในแปลงปลูกองุ่น ส้ม ผัก และไม้ดอกไม้ประดับ จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015)

6.2 กลุ่ม H: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งชีวสังเคราะห์การสร้างผนังเซลล์ (H: Cell Wall Biosynthesis)

สารในกลุ่มนี้มี 3 กลุ่มย่อย ได้แก่กลุ่ม H4 หรือ FRAC Group 19 สารโพลีออกซิน (polyoxin) มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไคติน ซินเทส (chitin synthase) ในกระบวนการชีวสังเคราะห์ไคติน เนื่องจากผนังเซลล์ของเชื้อราทุกชั้นยกเว้นเชื้อราในไฟลัม Oomycota จะมีไคตินเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ สารโพลีออกซินจึงสามารถยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หลายชนิด (Ibe *et al*., 2022; Oliver and Beckerman, 2022; Wu *et al*., 2522; Oliver, 2024) สารโพลีออกซินเป็นสารที่พัฒนามาจากสารตั้งต้นที่ผลิตโดยเชื้อ *Streptomyces cacaoi* var. *asoensis* สามารถควบคุมโรคของธัญพืช ไม้ผล ผักและไม้ดอกไม้ประดับ เช่น โรคกาบใบแห้งของข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และใบจุดสีม่วงของหอมแดงและหอมหัวใหญ่ที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria* spp. จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Hatamoto *et al*., 2019)

กลุ่ม H5 หรือ FRAC Group 40 สารกลุ่มกรดคาร์บอกซีลิก เอไมด์ (carboxylic acid amide) มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เซลลูโลส ซินเทส (cellulose synthase) (Zhang *et al*., 2021) ในกระบวนการชีวสังเคราะห์เซลลูโลส สามารถควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชเฉพาะเชื้อราในไฟลัม Oomycota เนื่องจากเชื้อราในกลุ่มนี้จะมีกลูแคนและเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (Hasim and Coleman, 2019; Zhang *et al*., 2021; Ibe *et al*., 2022; Wu *et al*., 2522) สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของซูโอสปอร์ และสปอร์แรงเจียม รวมทั้งการเจริญของท่อเจริญและเส้นใย โดยมีคุณสมบัติทั้งป้องกันและกำจัด สามารถถูกดูดซึมโดยพืชขึ้นสู่ยอดและสามารถเคลื่อนที่จากผิวใบไปใต้ใบ (Hasim and Coleman, 2019; Zhang *et al*., 2021; Wu *et al*., 2522) นอกจากจะสามารถยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์ผนังเซลล์แล้วยังมีฤทธิ์ยับยั้งการพักตัวของซูโอสปอร์ของเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Plasmopara viticola* แต่มีรายงานการดื้อยาในเชื้อ *Plasmopara viticola* แต่ยังไม่พบการดื้อยาในเชื้อรา *Phytophthora infestans* มีรายงานพบการดื้อยาข้ามสารระหว่างสารในกลุ่มกรด

คาร์บอกซีลิก เอไมด์จัดเป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราในกลุ่มกรดคาร์บอกซีลิก เอไมด์ จัดเป็นสารชนิดดูดซึมที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืชในไฟลัม Oomycota มีสารในกลุ่มนี้ 7 สารแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยได้แก่ 1. กลุ่มกรดซินนามิก เอไมด์ (cinnamic acid amides) ได้แก่สารไดเมโทมอร์ฟ (dimethomorph) ไพริมอร์ฟ (pyrimorph) และฟูมอร์ฟ (flumorph) ใช้ควบคุมโรคราน้ำค้างในพืชผัก และองุ่น 2. กลุ่มวาลินาไมด์ คาร์บาเมต (valinamide carbamate) ได้แก่ไอโพรวาลิคาร์บ (iprovalicarb) เบนไทอะวาลิคาร์บ (benthiavalicarb) และวาลิฟีนาเลท (ใช้ควบคุมโรคราแป้งและโรคราน้ำค้างในองุ่น มันฝรั่ง และมะเขือเทศ และ 3. กลุ่มกรดแมนดีลิก เอไมด์ (mandelic acid amide) ได้แก่ แมนดิโพรพามิด (mandipropamid) ใช้ควบคุมโรคราน้ำค้างขององุ่น โรคใบไหม้ของมันฝรั่งและมะเขือเทศ (White *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

มีข้อแนะนำให้ใช้สารกลุ่มนี้ก่อนที่เชื้อราจะเข้าทำลายหรือใช้ในช่วงเริ่มเห็นอาการของโรคในแปลงปลูกจะช่วยควบคุมโรคได้ดี สารในกลุ่มนี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านท่อน้ำขึ้นสู่ยอด ซึ่งจะช่วยลดการสร้างสปอร์ ช่วยป้องกันการแพร่กระจายของโรคในแปลงปลูก มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรไดเมโทมอร์ฟ 50% WP ใช้ควบคุมโรคราน้ำค้างของพืชตระกูลแตงและโรคใบไหม้ในมันฝรั่งและมะเขือเทศ ไอโพรวาลิคาร์บ + โพรพิเนบ 5.5% + 61.3% WP ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบไหม้ของมันฝรั่งที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora infestans* และ แมนโคเซบ + วาลิฟีนาเลท 60% + 6% WG ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง และโรคราน้ำค้างของพืชตระกูลแตงที่เกิดจากเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* (อรพรรณ, 2554; Jeschke *et al*., 2019; White *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022)

6.3 กลุ่ม I: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์เมลานินในผนังเซลล์ (I: Melanin Synthesis in Cell Wall)

เมลานิน (melanin) หรือ 1,8-ไดไฮโดรออกซีแนฟทาลีน (1,8-dihydroxynaphthalene (DHN)) เป็นสารโพลีฟีนอลเรซิน (polyphenolresin) ที่มีสีเข้มหรือดำที่สังเคราะห์มาจากเพนตะคีไทด์ (pentaketide) และกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) หรือสังเคราะห์จากอะเซทิล โคเอ (acetyl CoA) และเมลานิน โคเอ (malonyl CoA) เมลานินจะพบในเชื้อราที่สร้างเส้นใยสีเข้ม เช่น เชื้อรา *Curvularia*, *Bipolaris*, *Pyricularia* รวมทั้งเชื้อราที่สร้างโครงสร้างเข้าทำลายพืชสีเข้ม เช่น เชื้อรา *Colletotrichum* spp. ซึ่งจะสร้างโครงสร้างที่จะเข้าทำลายพืชคือแอพเพรสโซเรียมที่มีเมลานินเป็นส่วนประกอบ สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์เมลานิน (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

อย่างไรก็ตามสารในกลุ่มนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ของข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* โดยเฉพาะมีสาร 7 ชนิดแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่กลุ่ม I1 หรือ FRAC Group 16.1 สารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์รีดักเทสต่างๆ ในกระบวนการชีวสังเคราะห์เมลานิน (Melanin Biosynthesis Inhibitors: Reductases, MBI-R) ได้แก่สารฟทาไลด์ (fthalide) ไพโรควิลอน (pyroquilon) และไตรไซคลาโซล (tricyclazole) จัดเป็นสารชนิดป้องกันกำจัดที่มีคุณสมบัติดูดซึม ใช้ในการควบคุมโรคไหม้ข้าวสามารถยับยั้งการสร้างแอพเพรสโซเรียมและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* เนื่องจากเป็นสารชนิดดูดซึมจึงสามารถควบคุมโรคพืชได้นาน สารในกลุ่มนี้ยังไม่ทราบระดับการดื้อยา (Hamada *et al*., 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Berthelot *et al*., 2020)

กลุ่ม I2 หรือ FRAC Group 16.2 เป็นกลุ่มสารที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดีไฮดราเทส (dehydratase) ต่างๆ ในกระบวนการชีวสังเคราะห์เมลานิน (Melanin Biosynthesis Inhibitors: Dehydratase, MBI-D) เช่น เอนไซม์ไซตาโลน

ดิไฮดราเดรต (scytalone dehydratase) สารในกลุ่มนี้ได้แก่สารไดโคลไซเมท (diclocymet) คาร์โพรพามิด (carpropamid) และฟีโนซานิล (fenoxanil) เป็นสารชนิดดูดซึมใช้ควบคุมโรคไหม้ข้าวเช่นเดียวกับสารในกลุ่ม I1 จัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Berthelot *et al*., 2020; Oliver, 2024)

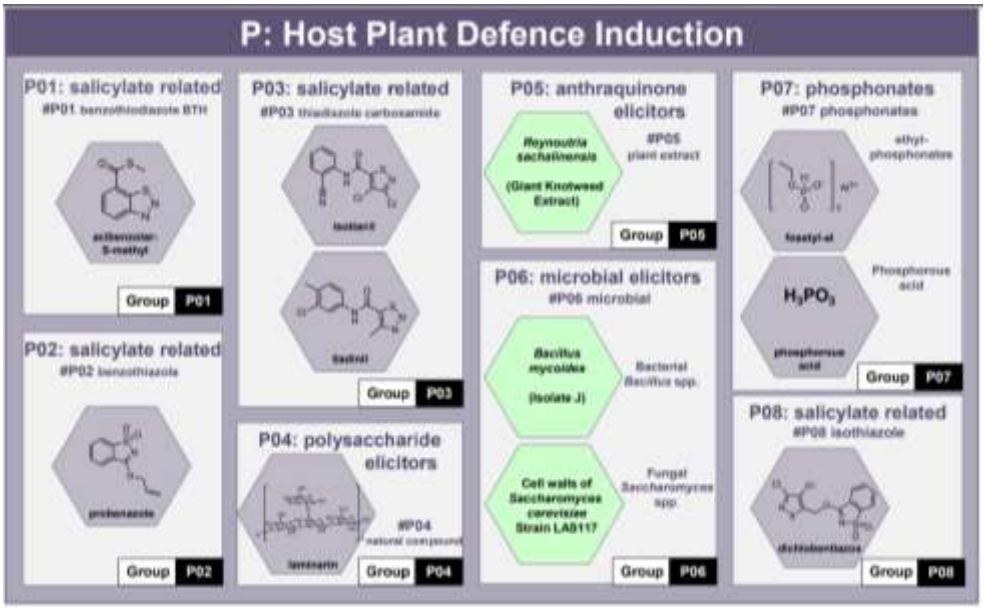
กลุ่ม I3 หรือ FRAC Group 16.3: สารโทโพรคาร์บ (tolprocarb) มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลีคีไทด์ ซินเทส (polyketide synthase) ในกระบวนการชีวสังเคราะห์เมลานิน ได้แก่สารโทลโพรคาร์บ (tolprocarb) ไม่ทราบระดับการดื้อยา (Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Berthelot *et al*., 2020; Oliver, 2024)

สารในกลุ่มนี้ทั้งหมดมีฤทธิ์ในการยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์เมลานินซึ่งเป็นสารสีที่มีสำคัญในผนังเซลล์เชื้อรา เมื่อเชื้อราไม่สามารถสร้างเมลานินจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยเชื้อรา สารในกลุ่มนี้มีจำหน่ายในประเทศไทยชนิดเดียวได้แก่ไตรไซคลาโซล 75% WP ใช้ในการควบคุมโรคไหม้ของข้าว (อรพรรณ, 2552; Oliver and Hewitt, 2014; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Rajeswari *et al*., 2024)

6.4 กลุ่ม P: สารที่มีคุณสมบัติชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน (Induced Resistance: Systemic Acquired Resistance)

สารชนิดแรกในกลุ่มนี้ที่ออกสู่ตลาดคือเบนโซไทอะไดเอโซล (benzothiadiazole) มีชื่อการค้าว่า Actigard มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้หลายชนิด ส่วนสารอนุพันธุ์ของสารเบนโซไทอะไดเอโซล หรือที่เรียกว่าอะซิเบนโซลาร์-เอส-เมทิล (acibenzolar-S-methyl) (ภาพที่ 6.2) สามารถป้องกันโรคราน้ำค้างของพืชผักหลายชนิด สารกลุ่มใหม่ๆ ที่มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อการค้าจะมีคุณสมบัติในการกระตุ้นความต้านทานในพืชเป็นสารสังเคราะห์ที่เลียนแบบสารที่ก่อให้เกิดการชักนำการต้านทานในพืชตามธรรมชาติ เช่น กรดเบต้า – อะมิโนบิวไทริก (β-aminobutyric acid) อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโต

หรือกำจัดเชื้อสาเหตุโรคพืชหลังจากที่เชื้อเข้าทำลายพืชแล้ว (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)



ภาพที่ 6.2 แสดงสารในกลุ่ม P สารที่มีคุณสมบัติชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน
ที่มา: FRAC (2025)

นอกจากนี้ยังพบว่าการฉีดพ่นสารซิลิคอน (silicon) กับพืชสามารถชักนำให้พืชเกิดการต้านทานเฉพาะแห่ง (localized defense reaction) โดยส่งผลให้พืชสร้างโครงสร้างต่างๆ เช่น ปาปิลา (papilla) แคลโลส (callose) และสะสมสารฟีนอลิก (phenolic) ที่ผนังเซลล์ เพื่อป้องกันพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคราแป้ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ไม่ได้รับสารซิลิคอนพบว่าจะไม่มีปฏิกิริยาการตอบสนองเหล่านี้

สารในกลุ่มนี้สามารถจัดจำแนกเป็น 8 กลุ่ม (ภาพที่ 6.2) ได้แก่สารกลุ่ม P1 หรือ FRAC Group P01 สารอะซิเบนโซลาร์-เอส-เมทิล ถึงแม้จะไม่มีฤทธิ์ในการกำจัดเชื้อสาเหตุโรคพืชแต่พบว่าสามารถชักนำให้พืชป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชทั้งเชื้อรา

แบคทีเรียและเชื้อไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P2 หรือ FRAC Group P02 สารโพรบีนาโซล (probenazole) ใช้ฉีดพ่นเพื่อชักนำให้ข้าวต้านทานต่อเชื้อรา *Pyricularia oryzae* สาเหตุโรคไหม้รวมทั้งใช้ในพืชหลายชนิดเพื่อชักนำให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัส (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P3 หรือ FRAC Group P03 สารไอโซติอะนิล (isotianil) และติอะดินิล (tiadinil) ใช้ฉีดพ่นข้าวเพื่อกระตุ้นให้ข้าวต้านทานต่อโรคไหม้เช่นเดียวกับสารโพรบีนาโซล (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P4 หรือ FRAC Group P04 สารลามินาริน (laminarin) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดจากหญ้าทะเลสีน้ำตาล (*Laminaria digitata*) ใช้ฉีดพ่นต้นแอปเปิลเพื่อชักนำความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคสแคปและใบไหม้ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P5 หรือ FRAC Group P05 เป็นสารสกัดจากพืช *Reynoutria sachalinensis* ใช้ฉีดพ่นเพื่อชักนำให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคพืชหลายชนิด (Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P6 หรือ FRAC Group P06 สารในกลุ่มนี้จะเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ได้แก่แบคทีเรีย *Bacillus* spp. และยีสต์ *Saccharomyces* spp. เมื่อนำมาคลุกกับเมล็ดราดดินหรือจุ่มชิ้นส่วนพืชลงไปจะสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและชักนำให้พืชเกิดความต้านทานต่อเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิดได้ โดยสารในกลุ่ม P1-P6 ไม่มีรายงานระดับการดื้อยา (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P7 หรือ FRAC Group P07 สารในกลุ่มฟอสฟอเนตประกอบด้วยสารฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม และกรดฟอสฟอริก เป็นสารชนิดป้องกันและยับยั้งพัฒนาการของโรคใช้ฉีดพ่นควบคุมเชื้อราในไฟลัม Oomycota เช่น *Phytophthora*, *Plasmopara* และ *Bremia* ที่เข้าทำลายพืชผักและไม้ผล สารในกลุ่มนี้เป็นสารดูดซึมที่พืชสามารถดูดซึมไปยังยอดและรากได้จึงสามารถป้องกันโรคพืชได้ทั้งต้น รวมทั้งมีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของสปอร์และยับยั้งการเจริญของเส้นใย มีรายงานการดื้อยาในเชื้อราบางชนิด จัดเป็นกลุ่มสารที่อยู่ในความเสี่ยงต่ำ (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

กลุ่ม P8 หรือ FRAC Group P08 สารไดคลอเบนเทียซอค (dichlobentiazox) เป็นสารที่กระตุ้นความต้านทานชนิดใหม่ที่ได้รายงานในปี ค.ศ. 2020 โดยสามารถใช้ฉีดพ่นหรือคลุกเมล็ดข้าวเพื่อกระตุ้นความต้านทานโรคไหม้ของข้าว ไม่มีรายงานระดับการดื้อยา (Ishii and Hollomon, 2015; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

6.5 กลุ่ม U: สารที่ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืช (U: Unknown Mode of Action)

สารในกลุ่มนี้เป็นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ของสารที่แน่นอน หรือเป็นสารที่คาดว่าจะส่งผลต่อเอนไซม์หรือกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืชแต่ยังไม่มีการพิสูจน์ที่แน่ชัด สารเหล่านี้จึงจัดอยู่ในกลุ่ม U หรือ unknown mode of action รวมทั้งสารต่างๆ ที่แต่เดิมจัดอยู่ในกลุ่มอื่นแต่ต่อมามีการศึกษาพิสูจน์ว่าสารเหล่านี้ไม่ได้มีกลไกการออกฤทธิ์ในกลุ่มดังกล่าว สารจะถูกย้ายนำมาไว้ในกลุ่มนี้ แต่เมื่อใดที่ได้มีการพิสูจน์หรือมีรายงานฤทธิ์ของสารเหล่านี้ที่แน่ชัดก็จะย้ายสารเหล่านี้ไปอยู่ในกลุ่มที่มีกลไกการออกฤทธิ์ที่จำเพาะต่อไป (Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ปัจจุบันมี 12 สารในกลุ่มนี้ เช่น สารไซมอกซานิล (cymoxanil) เป็นสารที่ใช้ฉีดพ่นควบคุมเชื้อรา *Peronospora*, *Phytophthora* และ *Plasmopara* ในองุ่น มะเขือเทศ

มันฝรั่งและผัก สารไซมอกซานิลจะแทรกซึมเข้าสู่ใบอย่างรวดเร็วและเคลื่อนที่ไปอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ถึงแม้ว่าจะมีการใช้สารไซมอกซานิลมานานกว่า 20 ปี แต่ยังไม่พบรายงานการดื้อยาของเชื้อรา *Phytophthora infestans* แต่พบการดื้อยาในการใช้ควบคุมเชื้อรา *Plasmopara viticola* (Oliver and Hewitt, 2014; Oliver, 2024) ฤทธิ์ของสารยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน แต่จากการศึกษาพบว่าสารไซมอกซานิลไม่มีผลต่อการหายใจและการผลิตพลังงานภายในเซลล์ การเคลื่อนที่ของซูโอสปอร์ รวมทั้งไม่มีผลต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน สารไซมอกซานิลจัดอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ ขณะที่สารกลุ่ม U06 สารไซฟลูฟีนามิด (cyflufenamid) ออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 2002 ใช้ควบคุมโรคราแป้งในธัญพืชและพืชอื่นๆ แต่ใช้ได้ไม่นานก็พบการดื้อยาของเชื้อรา *Sphaerotheca* (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

สารในกลุ่ม U12 สารโดดีน (dodine) เป็นสารยุคเก่าออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 1958 ใช้ควบคุมใบจุดและโรคทางใบอื่นๆ รวมทั้งมีฤทธิ์ควบคุมสาหร่ายด้วย คาดว่าสารโดดีนจะมีฤทธิ์ต่อพลาสมา เมมเบรน มีรายงานการดื้อสารโดดีนในเชื้อรา *Venturia inaequalis* สาเหตุโรคสแคปของแอปเปิล (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

U13 สารฟลูเทียนิล (flutianil) ออกสู่ตลาดเมื่อปี ค.ศ. 2008 ใช้ควบคุมโรคราแป้งขององุ่น สารในกลุ่ม U16 สารทีบูโฟลควิน (tebufloquin) และ U17 พิคาร์บูทราซอกซ์ (picarbutrazox) ออกสู่ตลาดในปี ค.ศ. 2014 สารทีบูโฟลควินคาดว่ามีฤทธิ์ยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอนที่คอมเพล็กซ์ III หรือไซโตโครม บีซี$_1$ ส่วนสารพิคาร์บูทราซอกซ์ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ของสารที่แน่ชัด (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Reglinski *et al*., 2023; Oliver, 2024) และ U18 สารวาลิดามัยซิน มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรวาลิดามัยซิน 3% SL ใช้ควบคุมโรคกาบใบแห้งในข้าวและโรคใบติดในทุเรียนที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* (ธิดา, 2559; Bian *et al*., 2020; Oliver, 2024)

6.6 กลุ่ม M: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุดในเซลล์เชื้อสาเหตุโรคพืช (M: Multi-Site Contact Activity)

มีการใช้สารเคมีป้องกันเชื้อราที่มีฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุดในเซลล์เชื้อสาเหตุโรคพืชอย่างแพร่หลายมานาน สารในกลุ่มนี้ได้แก่สารกลุ่มอนินทรีย์กำมะถัน คอปเปอร์หรือทองแดง สารกลุ่มไดไทโอคาร์บอเมตและอนุพันธุ์ (dithiocarbamate and derivative) รวมทั้งสารอื่นๆ ถือว่าเป็นสารเคมีป้องกันเชื้อราที่เก่าแก่แต่ยังมีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคพืชได้ดีจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้สามารถป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชแต่ไม่สามารถกำจัดเชื้อราที่เข้าทำลายพืชแล้ว สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในเซลล์เชื้อสาเหตุโรคพืชหรือยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์สารต่างๆ ได้หลายกระบวนการในคราวเดียวกันแต่กลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด เชื้อราสาเหตุโรคพืชจึงมีพัฒนาการดื้อยาต่ำมากและแทบจะไม่มีรายงานการดื้อยาในแปลงปลูก จึงยังใช้ฉีดพ่นหรือคลุกเมล็ดเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ รวมทั้งใช้เป็นสารผสมกับสารที่เข้าทำลายเฉพาะจุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและชะลอการดื้อยาของสารที่เข้าทำลายเฉพาะจุด (Oliver and Hewitt, 2014; Ishii and Hollomon, 2015; Jeschke *et al*., 2019; Reglinski *et al*., 2023; Oliver, 2024) สารในกลุ่มนี้มี 5 กลุ่มย่อย ดังนี้

6.6.1 FRAC Group M01 สารประกอบกลุ่มคอปเปอร์ เป็นสารกลุ่มอนินทรีย์ มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรคอปเปอร์ ไฮดรอกไซด์ 77% WP และคอปเปอร์ ออกซีคลอไรด์ 85% WP ใช้ป้องกันโรคพืชทั้งที่เกิดจากเชื้อราและแบคทีเรียในพืชหลายชนิด (ตารางที่ 6.2) (อรพรรณ, 2552; ธิดา, 2559; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ตารางที่ 6.2 โรคพืชที่ใช้สารประกอบกลุ่มคอปเปอร์ ในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราและแบคทีเรียสาเหตุโรคพืช

รูปแบบ	**พืช**	**โรคพืช**	**เชื้อสาเหตุโรค**
คอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ 77%WP	กุหลาบ	ใบจุดสีดำ	*Marssonina rosae*
	ข้าว	ขอบใบแห้ง	*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*
	ทุเรียน เงาะ	ใบจุดสาหร่าย	*Cephaleuros virescens*
	พืชตระกูลกะหล่ำ	ราน้ำค้าง	*Peronospora parasitica*
		ใบจุด	*Alternaria* spp.
	พืชตระกูลแตง	ราน้ำค้าง	*Pseudoperonospora cubensis*
		แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* spp.
	มันฝรั่ง มะเขือเทศ	ใบไหม้ ใบจุด	*Alternaria solani*
	ส้ม มะนาว ส้มโอ	เมลาโนส	*Diaporthe citri*
	หอม กระเทียม หอมหัวใหญ่	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
		แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	องุ่น	ราน้ำค้าง	*Plasmopara viticola*
คอปเปอร์ออกซีคลอไรด์ 85% WP	กาแฟ	ราสนิม	*Hemileia vastatrix*
	กล้วย	ใบจุดดำ	*Pseudocercospora fijiensis*
	ถั่ว	ใบจุด	*Cercospora arachidicola*
	ผัก	ใบจุด	*Alternaria* spp.
	เผือก	ใบจุดตาเสือ	*Phytophthora colocasiae*
	พืชตระกูลแตง	ราน้ำค้าง	*Pseudoperonospora cubensis*
	ไม้ดอกไม้ประดับ	ราน้ำค้าง	*Peronospora* spp.
		แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* spp.
	มะนาว	แคงเกอร์	*Xanthomonas citri*
	มันฝรั่ง มะเขือเทศ	ใบไหม้	*Alternaria solani*
	มะม่วง	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
	ยางพารา	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum* sp.
	ส้ม มะนาว ส้มโอ	เมลาโนส	*Diaporthe citri*
	องุ่น	ราน้ำค้าง	*Plasmopara viticola*
		จุดดำ	*Elsinoe ampelina*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

6.6.2 FRAC Group M02 สารประกอบกลุ่มกำมะถันหรือซัลเฟอร์ (sulfur) มีจำหน่ายในประเทศไทย ในสูตรซัลเฟอร์ 80% WG ใช้ป้องกันโรคราแป้ง โรคราสนิม โรคราเขม่า และโรคพืชที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งใช้ป้องกันไรศัตรูพืชเช่น ไรแดงมะม่วง และองุ่น ไรกำมะหยี่ในลิ้นจี่ ไรสนิมในส้มโอและไรขาวพริก มีข้อควรระวังในการใช้เนื่องจากซัลเฟอร์อาจก่อให้เกิดอาการใบไหม้ได้เมื่อใช้ในขณะที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นควรฉีดพ่นในช่วงเย็นและไม่ควรฉีดพ่นช่อดอกเพราะจะทำให้ดอกร่วง (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

6.6.3 FRAC Group M03 เป็นสารกลุ่มไดไทโอคาร์บอเมตและสารที่เกี่ยวข้อง ที่ได้รับความนิยมสูงในประเทศไทย เช่น สารโพรพิเนบ (propineb) มีจำหน่ายในสูตรโพรพิเนบ 70% WP สามารถควบคุมโรคพืชได้หลายชนิด (ตารางที่ 6.3) รองลงมาได้แก่ แมนโคเซบ (mancozeb) มีจำหน่ายในรูปแบบแมนโคเซบ 80% WP ออกฤทธิ์ในทางป้องกันโรคพืชหลายชนิดเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 6.4) ส่วนสารอื่นๆ ในกลุ่มนี้ได้เสื่อมความนิยมในการใช้ควบคุมโรคพืช เนื่องจากปัญหาเรื่องประสิทธิภาพในการควบคุมโรคในแปลงปลูกไม่สม่ำเสมอ (ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ, 2568; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

6.6.4 FRAC Group M04 สารแคปแตน (captan) มีจำหน่ายในประเทศไทย ในสูตรแคปแตน 50% WP สามารถควบคุมโรคพืชได้หลายชนิด ได้แก่ โรคใบจุดดำ โรคใบปื้นเหลืองในกล้วยไม้ โรคถอดฝักดาบในข้าว โรคราน้ำค้างขององุ่น โรคแอนแทรคโนสของมะม่วง โรคโคนเน่าและโรคแอนแทรคโนสของถั่วเหลืองและถั่วลิสง ส่วนสารแคปตาฟอล (captafol) ใช้ควบคุมโรคไม้ผลและมันฝรั่ง และสารโฟลเปต (folpet) ใช้ควบคุมโรคราน้ำค้าง ซึ่งสารแคปตาฟอลและโฟลเปตไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย (ธิดา, 2559; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ตารางที่ 6.3 โรคพืชที่ใช้สารโพรพิเนบ 70% WP ในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช

พืช	**โรค**	**เชื้อราสาเหตุโรค**
ข้าว	ใบจุดสีน้ำตาล	*Bipolaris oryzae*
ข้าวโพด	ใบไหม้	*Exserohilum turcicum*
คะน้า	ราน้ำค้าง	*Peronospora parasitica*
แตงกวา	ราน้ำค้าง	*Pseudoperospora cubensis*
พริก	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides* และ *C. capsici*
มะเขือเทศ	ใบไหม้	*Alternaria solani*
มันฝรั่ง	ใบไหม้	*Phytophthora infestans*
มะม่วง	ช่อดอกดำ	*Colletotrichum gloeosporioides*
ส้ม	เมลาโนส	*Diaporthe citri*
หอมหัวใหญ่	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*
	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum gloeosporioides*
องุ่น	ราน้ำค้าง	*Plasmopara viticola*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

6.6.5 FRAC Group M05 สารคลอโรทาโลนิล (chlorothalonil) มีจำหน่ายในประเทศไทยในสูตรคลอโรทาโลนิล 50% SC ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบไหม้ในมันฝรั่ง โรคราน้ำค้าง โรคราสนิม โรคราดำ โรคแอนแทรคโนส และเมลาโนสในพืชผักและไม้ผล และ สารคลอโรทาโลนิล 75% WP ใช้ป้องกันกำจัดโรคใบจุดและโรคราน้ำค้างในพืชตระกูลกะหล่ำ โรคราน้ำค้างและโรคแอนแทรคโนสในพืชตระกูลแตง โรคใบไหม้ในมันฝรั่งและมะเขือเทศ โรคตากบในยาสูบ โรคราสนิมในถั่วลิสง โรคใบจุดของกระเทียมและโรคแอนแทรคโนสในพริก (อรพรรณ, 2552; Jeschke *et al*., 2019; Oliver and Beckerman, 2022; Oliver, 2024)

ตารางที่ 6.4 โรคพืชที่ใช้สารแมนโคเซบ 80% WP ในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช

พืช	**โรค**	**เชื้อราสาเหตุโรค**
กล้วยไม้	จุดสนิม โรคดอกสนิม	*Curvularia eragrostidis*
ข้าว	ถอดฝักดาบ	*Fusarium fujikuroi*
คะน้า	ราน้ำค้าง	*Peronospora parasitica*
ถั่วลิสง	ใบจุด	*Cercosporidium personatum*
ถั่วเหลือง	ราสนิม	*Puccinia pachyrhizi*
ผักกาดขาว	ใบจุด	*Alternaria* spp.
พืชตระกูลแตง	ราน้ำค้าง	*Pseudoperospora cubensis*
พริก	แอนแทรคโนส	*Colletotrichum capsici*
มันฝรั่ง	ใบไหม้	*Phytophthora infestans*
มะเขือเทศ	ใบจุดวง	*Alternaria solani*
หอมใหญ่ หอมแดง หอมแบ่ง กระเทียม	ใบจุดสีม่วง	*Alternaria porri*

ที่มา: อรพรรณ (2552); ธิดา (2559); ศรีจำนรรจ์ และ พฤทธิชาติ (2568)

6.7 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราต่อจากบทที่ 6 โดยจะมีรายละเอียดของสารในกลุ่ม G-M กลุ่ม G สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์สเตอรอลในพลาสมา เมมเบรน แบ่งเป็น 4 กลุ่มย่อย เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากเชื้อราทุกชนิดมีการสังเคราะห์สเตอรอลในผนังเซลล์ เมื่อเชื้อราไม่สามารถสร้างสเตอรอลได้จะส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่สร้างขึ้นใหม่ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ในกลุ่มนี้มีสาร 48 ชนิดใช้แพร่หลายทั่วโลก และเนื่องจากมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เฉพาะชนิด สารแต่ละกลุ่มจึงยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน

กลุ่ม H สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์การสร้างผนังเซลล์ แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไคติน ซินเทสในกระบวนการชีวสังเคราะห์ไคตินที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของเชื้อรา นอกจากนี้ยังมีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เซลลูโลส ซินเทสใน

กระบวนการชีวสังเคราะห์เซลลูโลส สามารถควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชเฉพาะเชื้อราในไฟลัม Oomycota

กลุ่ม I สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการสังเคราะห์เมลานินในผนังเซลล์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย สารในกลุ่มนี้มีกลไกออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์รีดักเทส ดีไฮดราเทสและพอลีคีไทด์ ซินเทสต่างๆ ในกระบวนการชีวสังเคราะห์เมลานินซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในผนังเซลล์เชื้อรา สารในกลุ่มนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมโรคไหม้ข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* โดยเฉพาะ

กลุ่ม P: สารที่มีคุณสมบัติชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน สารกลุ่มนี้เหล่านี้สามารถชักนำให้พืชเกิดความต้านทานได้ โดยเป็นสารที่มีคุณสมบัติชักนำให้พืชเกิดความต้านทานแบบทั่วต้นต่อเชื้อสาเหตุโรคพืช

กลุ่ม U: สารที่ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคพืช สารในกลุ่มนี้เป็นสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราที่ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ของสารที่แน่นอน หรือเป็นสารที่คาดว่าจะส่งผลต่อเอนไซม์หรือกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืชแต่ยังไม่มีการพิสูจน์ที่แน่ชัด

กลุ่ม M: สารที่มีกลไกออกฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุดในเซลล์เชื้อสาเหตุโรคพืช สารในกลุ่มนี้ได้แก่สารกลุ่มอนินทรีย์กำมะถัน ทองแดง สารกลุ่มไดไทโอคาร์บอเมตและอนุพันธุ์รวมทั้งสารอื่นๆ สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในเซลล์เชื้อสาเหตุโรคพืชหรือยับยั้งกระบวนการชีวสังเคราะห์สารต่างๆ ได้หลายกระบวนการในคราวเดียวกันแต่กลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด เชื้อจึงมีพัฒนาการดื้อยาต่ำมาก

6.8 เอกสารอ้างอิง

ธิดา เดชฮวบ. 2559. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช. บริษัท เอเชีย ดิจิทัล การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 195 หน้า.

ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา และพฤทธิชาติ ปุณวัฒโฑ. 2568. เอกสารวิชาการคำแนะนำการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จากงานวิจัย ปี 2568. โครงการวิจัยการเพิ่มขีดความสามารถการป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยลดการใช้สารเคมีเพื่อเกษตรดีที่เหมาะสมอย่างยั่งยืน และโครงการวิจัยเทคโนโลยีการอารักขาพืชเพื่อแก้ปัญหาศัตรูพืชต้านทานและการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเกินความจำเป็นในระบบแปลงใหญ่. กรมวิชาการเกษตร. 287 หน้า.

อรพรรณ วิเศษสังข์. 2552. คู่มือการเลือกใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืช. กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 128 หน้า.

Bian, C., Duan, Y., Wang, J., Xiu, Q., Wang, J., Hou, Y., Song, X. and Zhou, M. 2020. Validamycin A induces broad-spectrum resistance involving salicylic acid and jasmonic acid/ ethylene signaling pathways. Molecular Plant-Microbe Interactions 33(12): 1424–1437.

Berthelot, C., Zegeye, A., Gaber, D., Chalot, M., Franken, P., Kovács, G., Leyval, C. and Blaudez, D. 2020. Unravelling the role of melanin in Cd and Zn tolerance and accumulation of three dark septate endophytic species. Microorganisms 8: 17.

Bhattacharya, S., Esquivel, B.D. and Whitea, T.C. 2018. Overexpression or deletion of ergosterol biosynthesis genes alters doubling time, response to stress agents, and drug susceptibility in *Saccharomyces cerevisiae*. Mbio 9(4): e01291–18

Chen, W., Wei, L., Hou, R., Zhao, Y., Zhao, Y. and Liu, F. 2022. Sterol demethylation inhibitor fungicide resistance in *Colletotrichum siamense* from chili is caused by mutations in CYP51A and CYP51B. Phytopathology Research 4: 41.

Debieu, D., Bach, J., Hugon, M., Christian Malosse, C. and Leroux, P. 2001. The hydroxyanilide fenhexamid, a new sterol biosynthesis inhibitor fungicide efficient against the plant pathogenic fungus *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*). Pest Management Science 57(11): 1060–1067.

FRAC. 2025. Classification of Fungicides. Available source: https://www.frac.info/media/a5vnynr3/frac-moa-poster-2024.pdf. Accessed on 10 April 2026.

Hamada, T., Asanagi, M., Satozawa, T., Araki, N., Banba, S., Higashimura, N., Akase, T. and Hirase, K. 2014. Action mechanism of the novel rice blast fungicide tolprocarb distinct from that of conventional melanin biosynthesis inhibitors. Journal of Pesticide Science 39: 152–158.

Hasim, S. and Coleman, J.J. 2019. Targeting the fungal cell wall: current therapies and implications for development of alternative antifungal agents. Future Medicinal Chemistry 11(8): 869–883.

Hatamoto, M., Aizawa, R., Kobayashi, Y. and Fujimura, M. 2019. A novel fungicide aminopyrifen inhibits GWT-1 protein in glycosylphosphatidylinositol-anchor

biosynthesis in *Neurospora crassa*. Pesticide Biochemistry and Physiology 156: 1–8.

Hu, Z., He, B., Ma, L., Sun, Y., Niu, Y. and Zeng B. 2017. Recent advances in ergosterol biosynthesis and regulation mechanisms in *Saccharomyces cerevisiae*. Indian Journal of Microbiology 57(3): 270-277.

Jeschke, P., Witschel, M., Krämer, W. and Schirmer, U. 2019. Modern Crop Protection Compounds. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 1692 p.

Ibe, C., Oladele, R.O. and Alamir, O. 2022. Our pursuit for effective antifungal agents targeting fungal cell wall components: where are we? International Journal of Antimicrobial Agents 59(1): 106477.

Ishii, H. and Hollomon, D.W. 2015. Fungicide Resistance in Plant Pathogens: Principles and a Guide to Practical Management. Springer Tokyo, 490 p.

Mercer, E.I. 1991. Sterol biosynthesis inhibitors: their current status and modes of action. Lipids 26(8): 584–597.

Mohsin, S., Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Morokuma, M. and Fujita, M. 2021. Effect of tebuconazole and trifloxystrobin on *Ceratocystis fimbriata* to control black rot of sweet potato: Processes of reactive oxygen species generation and antioxidant defense responses. World Journal of Microbiology and Biotechnology 37: 148.

Oliver, R.P. 2024. Control of plant diseases. In: Oliver, R.P. (ed.). Agrios' Plant Pathology, 6th ed. Academic Press, pp. 279–316.

Oliver R.P. and Beckerman, J.L. 2022. Fungicides in Practice. CABI. 248 p.

Oliver, R. and Hewitt, H.G. 2014. Fungicides in crop protection. CABI. 190 p.

Rajeswari, E., Prasad, M.S., Vidya Sagar, B., Madhav, M.S., Teja Bhushan, B. and Roseswara Rao, Y. 2024. Management of rice blast with modern combination fungicides against *Magnaporthe oryzae*. Vegetos 37: 321–328.

Reglinski, T., Havis, N., Rees, H.J. and de Jong, H. 2023. The practical role of induced resistance for crop protection. Phytopathology 113: 719–731.

White, D.J., Chen, W. and Schroeder, K.L. 2019. Assessing the contribution of ethaboxam in seed treatment cocktails for the management of metalaxyl-resistant Pythium ultimum var. ultimum in Pacific Northwest spring wheat production. Crop Protection 115: 7–12.

Wu, Y., Zhang, M., Yang, Y., Ding, X., Yang, P., Huang, K., Hu, X., Zhang, M., Liu X. and Yu, H. 2022. Structures and mechanism of chitin synthase and its inhibition by antifungal drug Nikkomycin Z. Cell Discovery 8: 129.

Zhang, X., Yuan, J., Li, F. and Xiang, J. 2021. Chitin synthesis and degradation in crustaceans: a genomic view and application. Marine Drugs 19: 153.

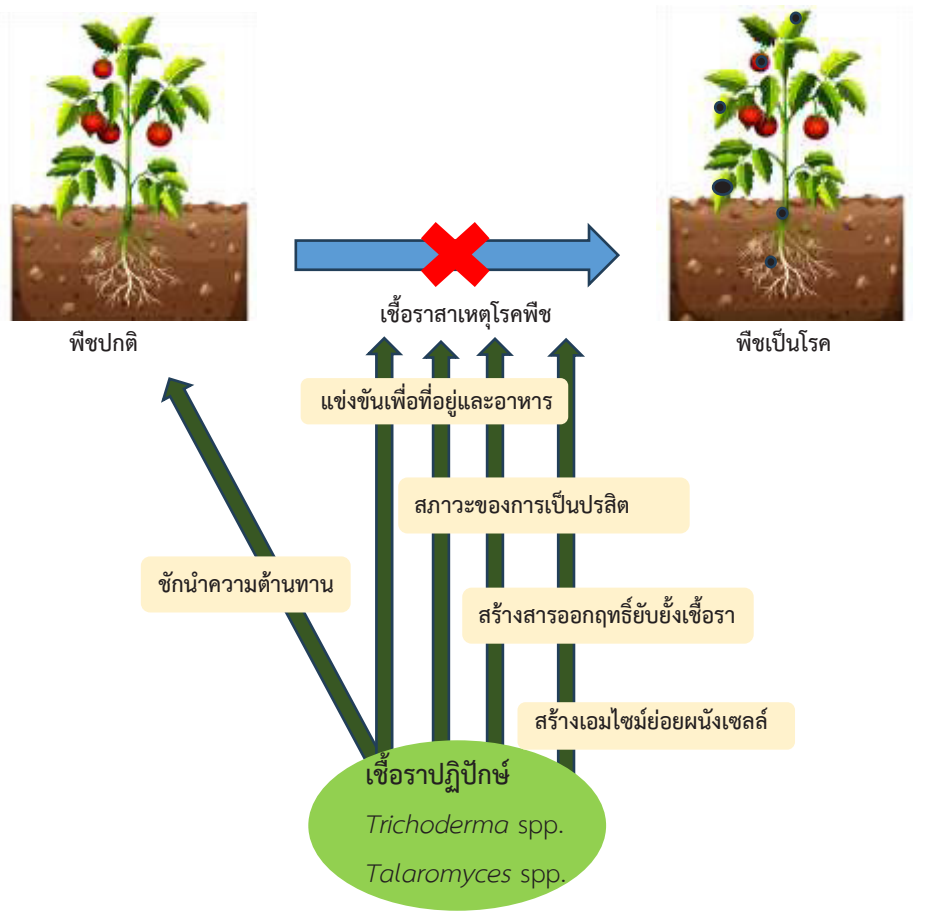
บทที่ 7
เชื้อราปฏิปักษ์ควบคุมโรคพืช
(Antagonistic Fungi for Plant Disease Control)

เนื่องจากผลกระทบจากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา ปัจจุบันจึงมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์เพื่อใช้ป้องกันกำจัดโรคพืชทดแทนการใช้สารเคมีจำนวนมากเพื่อปรับใช้ในการควบคุมโรคพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ เกษตรยั่งยืน พืชปลอดสารพิษและเพื่อให้รองรับกับตลาดหรือผู้บริโภคที่รักสุขภาพ รวมทั้งตอบสนองนโยบายการลดการใช้สารเคมีในภาคการเกษตรของภาครัฐและช่วยลดการกีดกันทางการค้าอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของสารเคมี (ธิดา, 2559; กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, 2563; Ghorbanpour *et al*., 2018; Thambugala *et al*., 2020) โดยมีรายงานเชื้อราปฏิปักษ์ใช้ควบคุมโรคพืชหลายชนิด โดยเฉพาะเชื้อรา *Trichoderma* spp. และ *Talaromyces* spp. และมีการพัฒนารูปแบบชีวภัณฑ์ต่างๆ เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการควบคุมโรคและการคงอยู่ของการมีชีวิตในผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง (Woo *et al*., 2014; Singh *et al*., 2022; Qi *et al*., 2023) รวมทั้งเพื่อช่วยส่งเสริมกลไกปฏิปักษ์ของเชื้อราในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช ได้แก่ การแข่งขันเพื่อแย่งที่อยู่และอาหาร (competition for space and nutrient) การสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต้านจุลินทรีย์ (production of enzyme and bioactive compound) ชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน (induce resistance) และสร้างสภาวะการเป็นปรสิต (mycoparasitism) (ภาพที่ 7.1) (Kohl *et al*., 2019; Khan *et al*., 2020; Thambugala *et al*., 2020) เชื้อราปฏิปักษ์อาจมีกลไกเดียวหรืออาจใช้หลายๆ กลไกร่วมกันในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยรายละเอียดของแต่ละกลไกปฏิปักษ์มีดังนี้

7.1 การแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหาร (Competition for Space and Nutrient)

การงอกของสปอร์และการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชเพื่อเข้าทำลายพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและปริมาณธาตุอาหารที่เชื้อสามารถหาได้ในบริเวณที่อาศัยอยู่ ดังนั้นเชื้อราสาเหตุโรคพืชต้องการครอบครองพื้นที่ที่ผิวใบหรือที่ส่วนต่างๆ ของพืชรวมทั้ง

สารอาหารเพื่อใช้ในการงอกของสปอร์และการเจริญเพื่อเข้าทำลายพืชให้เร็วที่สุด โดยเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญได้ในเซลล์พืชที่มีชีวิตนั้นหรือเชื้อที่เป็นปรสิตที่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิตจะต้องการธาตุอาหารจากพืชอาศัยที่มีชีวิตเท่านั้น ในขณะที่เชื้อราในกลุ่มเชื้อปรสิตที่ไม่ต้องพึ่งพาพืชอาศัยตลอดการดำรงชีวิต จะสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยเซลล์พืชที่มีชีวิตทำให้เซลล์พืชแตกส่งผลให้ปลดปล่อยสารอาหารออกมาและเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะใช้สารอาหารเหล่านี้ในการดำรงชีวิต (Khan *et al*., 2020; Thambugala *et al*., 2020; Guo *et al*., 2021)

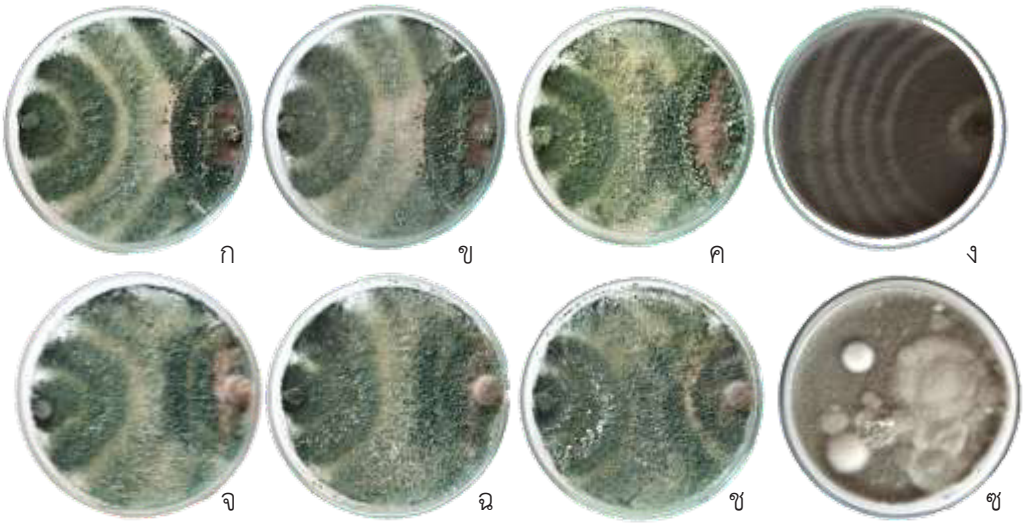


ภาพที่ 7.1 กลไกปฏิปักษ์ของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช
ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

อย่างไรก็ตามพื้นที่รอบราก ผิวใบและส่วนต่างๆ ของพืชจะมีเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นนอกเหนือจากเชื้อราสาเหตุโรคอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากโดยใช้สารที่พืชหลั่งออกมา (plant exudate) เป็นอาหาร รวมทั้งเมื่อพืชเกิดบาดแผลจากการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เชื้อราปฏิปักษ์ที่อยู่บริเวณผิวใบหรือผิวรากจะเข้าแย่งชิงพื้นที่กับเชื้อราสาเหตุโรคพืชเพื่อแย่งน้ำตาลหรือสารอาหารต่างๆ ที่ไหลมาจากบาดแผลที่บริเวณดังกล่าว (Campos-soriano *et al*., 2012; Ferreira *et al*., 2020) เชื้อราปฏิปักษ์จะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเพื่อรีบครอบครองพื้นที่และเจริญเติบโต บางชนิดสามารถหลั่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ผิวใบและผิวราก ส่งผลทำให้ลดประชากรของเชื้อราสาเหตุโรค รวมทั้งยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Baiyee *et al*., 2019; Carillo *et al*., 2020)

เชื้อราปฏิปักษ์แต่ละชนิดจะมีแหล่งที่อยู่ที่แตกต่างกัน เช่นบางชนิดมีพื้นที่อาศัยจำเพาะโดยเชื้อราไมคอร์ไรซ่า (mycorrhiza) จะพบเฉพาะในรากพืช เชื้อราเอนโดไฟท์จะพบในเนื้อเยื่อพืช แต่บางชนิดสามารถพบในพื้นที่ที่หลายหลาก เช่นเชื้อรา *Trichoderma* และ *Talaromyces* สามารถอาศัยอยู่ในดิน บนใบพืช ในเซลล์เนื้อเยื่อพืช ทะเลทราย พบได้ทั้งในเขตร้อนชื้น เขตอบอุ่น แม้แต่ในทะเล (Chalearmsrimuang *et al*., 2019; Klaram *et al*., 2022) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัว ในสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลายของอุณหภูมิและความชื้นรวมทั้งสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด (Kohl *et al*., 2019; Martínez *et al*., 2023) นอกจากนี้เชื้อราปฏิปักษ์ยังสามารถต้านทานต่อสารต้านจุลินทรีย์ที่ผลิตโดยพืช เช่น ไฟโตอเล็กซิน (phytoalexin) ฟีนอลิก (phenolics) และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ส่งผลให้เชื้อราปฏิปักษ์กลุ่มนี้มีความสามารถพิเศษในการครอบครองพื้นที่รากและใบได้อย่างรวดเร็ว (Lazazzara *et al*., 2021; Li *et al*., 2022) ซึ่งสามารถทดสอบได้ง่ายเมื่อนำเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบ เช่นนำเชื้อรา *Trichoderma* มาเลี้ยงคู่กับเชื้อราสาเหตุโรคพืชแบบวิธีเลี้ยงคู่กัน (dual culture) ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการจะพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* สามารถเจริญเติบโตได้เร็วคลุมทับโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ภายใน 3-4 วัน เช่น ตัวอย่างเชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกจากเมล็ดข้าวแสดงกลไกการแข่งขัน

เพื่อที่อยู่และอาหารโดยการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทับโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคข้าว เมื่อทดสอบโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน (ภาพที่ 7.2) (Vijitrpanth *et al*., 2023)



ภาพที่ 7.2 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกจากเมล็ดข้าวแสดงกลไกการแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหารโดยการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทับโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างข้าวเมื่อทดสอบโดยวิธีเลี้ยงคู่กันบนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

ก. *T. harzianum* KUFA0740 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *Curvularia oryzae* KUFA7111 (ซ้าย)

ข. *T. asperellum* KUFA0732 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *C. oryzae* KUFA7111 (ซ้าย)

ค. *T. asperellum* KUFA0733 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *C. oryzae* KUFA7111 (ซ้าย)

ง. *C. oryzae* KUFA7111

จ. *T. harzianum* KUFA0740 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *Bipolaris oryzae* KUFA7112 (ซ้าย)

ฉ. *T. asperellum* KUFA0732 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *B. oryzae* KUFA7112 (ซ้าย)

ช. *T. asperellum* KUFA0733 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *B. oryzae* KUFA7112 (ซ้าย)

ซ. *B. oryzae* KUFA 7112

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

เมื่อเชื้อราสาเหตุโรคพืชนั้นมีข้อจำกัดในการเข้าถึงสารอาหารและพื้นที่ในการเจริญเติบโตเนื่องจากอิทธิผลของเชื้อรา *Trichoderma* บนผิวของพืช จึงทำให้ความสามารถในการเข้าทำลายพืชลดลง (Kohl *et al*., 2019; Martínez *et al*., 2023) นอกจากนี้เชื้อราปฏิปักษ์ยังสามารถเพิ่มการแสดงออกของยีนไฮโดรโฟบิน (hydrophobin) ระหว่างที่เข้าครอบครองพื้นที่รากเพื่อช่วยการยึดเส้นใยให้เกาะติดกับผิวรากกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ รวมทั้งสร้างเอนไซม์ที่ย่อยผนังเซลล์พืชและโปรตีนต่างๆ เพื่อช่วยเกาะยึดกับผิวรากได้ดีขึ้น (Kohl *et al*., 2019; Martínez *et al*., 2023) เชื้อรา *Trichoderma* บางชนิดสามารถสร้างสารไซเดอโรฟอร์ (siderophore) ซึ่งเป็นสารจับไอออนเหล็ก (iron chelating compound) ในดินและเปลี่ยนเป็นรูปที่ทั้งเชื้อรา *Trichoderma* และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Bononi *et al*., 2020; Martínez *et al*., 2023)

7.2 สภาวะของการเป็นปรสิต (mycoparasitism)

ในกรณีที่เชื้อราปฏิปักษ์ชนิดหนึ่งเข้าทำลายเชื้อราอีกชนิดหนึ่งจะเรียกว่าเชื้อราที่มีสภาวะของการเป็นปรสิต (mycoparasitism) พบในเชื้อรา *Trichoderma* และ *Talaromyces* หลายชนิด โดยเชื้อราปฏิปักษ์ที่มีสภาวะของการเป็นปรสิ นี้จะสามารถสร้างเส้นใยพัดรัดเส้นใยและเจาะเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้เพื่อดูดซึมสารอาหารจากเชื้อราสาเหตุโรคพืชมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ (Kohl *et al*., 2019; Larran *et al*., 2020; Martínez *et al*., 2023) โดยเชื้อราที่มีสภาวะของการเป็นปรสิตสร้างเส้นใยแทงเข้าไปในเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชโดยตรง รวมทั้งหลั่งเอนไซม์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยเอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายผนังเซลล์หลักได้แก่ เอนโดไคติเนส (endochitinase) เบต้า-1,3- กลูคาเนส (ß-1,3-glucanase) ไคติเนส กลูคาเนส และ โปรติเอส (Barakat *et al*., 2014; Kohl *et al*., 2019; Larran *et al*., 2020; Martínez *et al*., 2023)

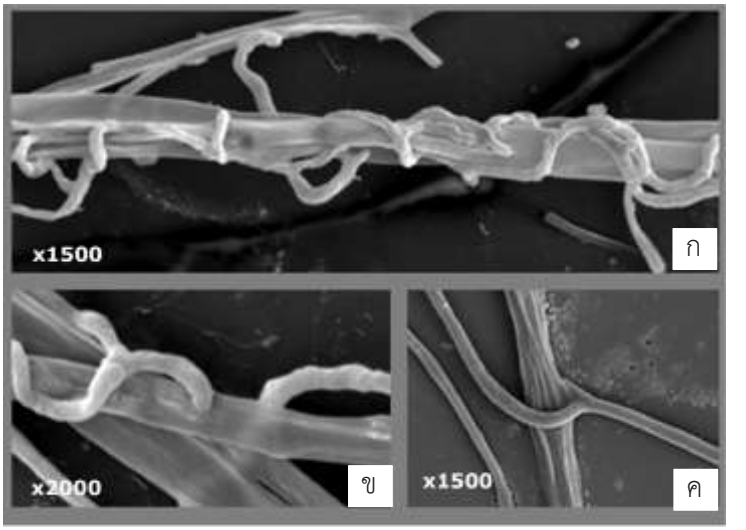
ในสภาวะของการเป็นปรสิตของเชื้อรา *Trichoderma* เริ่มแรกจะสร้างเส้นใยพันรัดรอบเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช มีการสร้างแอพเพรสโซเรียมและสร้างเส้นใยเจาะทะลุชั้นไคตินโดยสร้างเอนไซม์ต่างๆ ช่วยย่อยสลายผนังเซลล์ รวมทั้งหลั่งสารที่มีฤทธิ์ยับยั้ง

การทำงานของสารที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชสร้างขึ้นเพื่อต่อต้านการเจาะผนังเซลล์และเพื่อซ่อมแซมผนังเซลล์เส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Kohl *et al*., 2019; Larran *et al*., 2020; Martínez *et al*., 2023) ในส่วนนี้เอนไซม์ที่สำคัญที่สุดคือ เอนไซม์ไคติเนสที่เกิดจากการกระตุ้นการทำงานของยีนเอนไซม์ไคติเนส เช่น *ech42, chi33, nag1, chi18-13* อย่างไรก็ตามเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะสร้างเอนไซม์ *ech42* ได้เช่นกันเพื่อยับยั้งความสามารถในสภาวะของการเป็นปรสิตของเชื้อรา *Trichoderma* เช่น ในสภาวะของการเป็นปรสิตเข้าทำลายเส้นใยเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และ *Botrytis cinerea* เชื้อราสาเหตุโรคพืชทั้งสองชนิดจะหลั่งเอนไซม์ *ech42* ทำให้ประสิทธิภาพในสภาวะของการเป็นปรสิตของเชื้อรา *T. harzianum* ลดลง เป็นต้น (Barakat *et al*., 2014; Ghorbanpour *et al*., 2018; Larran *et al*., 2020; Li *et al*., 2022)

ในขณะที่สภาวะของการเป็นปรสิตกับเชื้อราสาเหตุโรคพืชในชั้น Oomycetes เชื้อรา *Trichoderma* จะสร้างเอนไซม์ เบต้า-1,3 และ เบต้า-1,6-กลูคาเนสร่วมกับเอนไซม์แอกโซโปรติเอส (exoprotease) เพื่อใช้ในการย่อยสลายผนังเซลล์ นอกจากนี้เอนไซม์เหล่านี้ยังเสริมประสิทธิภาพการทำงานซึ่งกันและกันในการย่อยลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) และผนังเซลล์ของเชื้อราในชั้น Oomycetes เช่น *Pythium* และ *Phytophthora* (Ghorbanpour *et al*., 2018; Larran *et al*., 2020; Maruyama *et al*., 2020; Li *et al*., 2022)

นอกจากนี้เชื้อราชนิดอื่นๆ เช่น *Sporidesmium sclerotiorum* มีสภาวะของการเป็นปรสิตโดยการสร้างกับดักเพื่อเข้าทำลายเม็ดสเคลอโรเตียมของเชื้อรา *Sclerotinia sclerotiorum* สาเหตุโรคลำต้นเน่าของถั่วเหลืองและส่งผลลดการเข้าทำลายในแปลงปลูก ขณะที่ยีสต์ *Pichia* สามารถเข้าทำลายผนังเซลล์ของเชื้อรา *Botrytis cinerea* โดยการหลั่งเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ได้โดยตรงคือเอนไซม์กลูคาเนส (Shyamli *et al*., 2005; Larran *et al*., 2020; Maruyama *et al*., 2020; Li *et al*., 2022) ซึ่งการเป็นปรสิตกับเชื้อราสาเหตุโรคพืช สามารถตรวจสอบการสร้างเส้นใยพันรัดเส้นใยและเจาะเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อรา

สาเหตุโรคพืชได้อย่างชัดเจนเมื่อตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (ภาพที่ 7.3)



ภาพที่ 7.3 แสดงกลไกการเป็นสภาวะของการเป็นปรสิตของเชื้อรา *Trichoderma guizhouense* NJAU 4742 ต่อเชื้อราสาเหตุโรคพืช
ก. เส้นใยเชื้อรา *T. guizhouense* NJAU 4742 (เส้นใยเล็ก) เจริญพัดรัดเส้นใยของเชื้อรา *Alternaria alternata* (เส้นใยใหญ่)
ข.-ค. เส้นใยเชื้อรา *T. guizhouense* NJAU 4742 (เส้นใยเล็ก) เจาะเข้าเส้นใยของเชื้อรา *Sclerotinia sclerotiorum* (เส้นใยใหญ่)
ที่มา: ดัดแปลงจาก Druzhinina *et al.* (2018)

7.3 การสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ (Production of Enzyme and Bioactive Compound)

การสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ ส่งผลยับยั้งการเจริญหรือฆ่าเชื้อราสาเหตุโรคพืชเป็นกลไกหนึ่งที่พบได้ในเชื้อราปฏิปักษ์หลายชนิด เช่น *Trichoderma* สร้างเอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายผนัง เช่น เซลลูโลส ไซลาเนส (xylanase) เพคติเนส กลูคาเนส ไลเปส อะไมเลส (amylase) อะราบิโนส (arabinose) และโปรตีเนส (Nair *et al*., 2015; Scharf *et al*., 2016; Khan *et al*., 2020) และสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ระเหยได้

ยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช ได้แก่ 6-เอ็น-เพนทิล-2เอช-ไพแรน-2-วัน (6-n-pentyl-2H-pyran-2-one) และสารอื่นๆ เช่น ไตรโคเดอร์มิน (trichodermin) ไตรโคเดอร์มอล (trichodermol) กลิโอวิริน (gliovirin) กลิโอทอกซิน (gliotoxin) ฮาร์เซียโนไลด์ (herzianolide) ไพโรน (pyrone) เปปไทบอล (peptaibol) ฟอมิก แอลดีไฮด์ (formic aldehyde) และ เอทิลีน (Keswani *et al*., 2014; Lazazzara *et al*., 2021)

ในการศึกษาการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเชื้อราปฏิปักษ์สามารถดำเนินการโดยนำสารสกัดจากเชื้อราปฏิปักษ์มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกของสปอร์หรือการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืชบนจานเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการและทดสอบการฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชภายใต้สภาพโรงเรือนและแปลงปลูก (Toghueo *et al*., 2016; Ferreira *et al*., 2020) เช่น Toghueo *et al*., (2016) รายงานว่าสารสกัดของเชื้อรา *T. atroviridae* สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *Fusarium solani* ที่ความเข้มข้นต่ำที่ 0.66 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยพบว่าสารกลุ่มอีพิโพลีไทโอไดโอโซไพเพอราซีน (epipolythiodioxopiperazine) และสารกลิโอทอกซินเป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้สูง (Abdenaceur *et al*., 2022; Siebatcheu *et al*., 2023)

เชื้อราปฏิปักษ์ *Purpureocillium lilacinum* สามารถผลิตสารในกลุ่มลิวซิโนสะเตติน (leucinostatin) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา *Phytophthora infestans* และ *P. capsici* นอกจากนี้มีรายงานว่าเชื้อรา *P. lilacinum* นี้สามารถเข้าทำลายไข่ การฟักตัวของไข่และตัวเต็มวัยของไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognita* ภายใต้สภาพแปลงปลูก (Campos-soriano *et al*., 2012; Ghorbanpour *et al*., 2018; Du *et al*., 2020; Larran *et al*., 2020) ขณะที่สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สร้างโดยเชื้อราไมคอร์ไรซาที่เจริญอยู่ที่ราก (ectomycorrhiza) เช่น *Botelus edulis*, *Botelus* sp., *Suillus grevillei*, *S. luteus*, *Chroogomphus rutilus* และ *Xerocomus chrysentero* สามารถสร้างสารที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ รวมทั้งเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium*

aphanidermatum และ *P. ultimum* สาเหตุโรคพืชได้ (Campos-soriano *et al*., 2012; Guo *et al*., 2021)

เชื้อรา *Muscodor albus* สามารถสร้างสารระเหยได้หลายชนิดที่มีฤทธิ์เสริมกันในการยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชทั้งเชื้อรา แบคทีเรีย ไส้เดือนฝอยและแมลงศัตรูพืช (Rodríguez-González *et al*., 2017; Ghorbanpour *et al*., 2018) ส่วน *Cryptosporiopsis quercine* เป็นเชื้อราเอนโดไฟท์ในไม้เนื้อแข็ง สามารถสร้างสารที่เรียกว่าคริปโตซิน (cryptocin) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด รวมทั้งเชื้อรา *Pyricularia oryzae* โรคไหม้ของข้าว (Ghorbanpour *et al*., 2018; Degani and Gordani, 2022)

7.4 การชักนำให้เกิดความต้านทาน (Induce Systemic Resistance)

ระบบป้องกันตนเองและชักนำให้เกิดความต้านทานในพืชเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของศัตรูพืชมีหลายกลไก ซึ่งอาจถูกกระตุ้นโดยการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชและจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์รวมทั้งสารเคมีบางชนิด ซึ่งกลไกนี้ได้มีวิวัฒนาการระหว่างเชื้อสาเหตุโรคพืช เชื้อปฏิปักษ์และพืชเป็นเวลานาน ผ่านตัวจดจำ pathogen- หรือ micro-associated molecular patterns (PAMs หรือ MAMPs) (Ghorbanpour *et al*., 2018; Kohl *et al*., 2019; Sanchez *et al*., 2019) ซึ่งจะมี 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ การชักนำให้เกิดความต้านทาน (Induce Systemic Resistance) ที่เกิดจากการเข้าทำลายโดยเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยตรงและการต้านทานทั้งต้นพืช (Systemic Acquired Resistance) เป็นระบบการต้านทานโดยการกระตุ้นจากทั้งเชื้อสาเหตุโรคพืช เชื้อราปฏิปักษ์และสารเคมี เช่น ไคโตซาน (chitosan) และกรดซาลิไซลิก ซึ่งเชื้อราปฏิปักษ์สามารถกระตุ้นกลไกการต้านทานทั้งก่อนและหลังที่เชื้อสาเหตุโรคจะเข้าทำลายได้ (Ghorbanpour *et al*., 2018; Redda *et al*., 2018; Kohl *et al*., 2019) มีรายงานว่าสารทุติยภูมิหลายชนิดที่สร้างโดยเชื้อราปฏิปักษ์ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นหรือส่งสัญญาณให้กับพืช กระตุ้นให้มีการสร้างเอนไซม์ต่างๆ เช่น ไซลาเนส ไคติเนส ฟีนิลอลามีน แอมโมเนีย ไลเอส (phenylalamine ammonia lyase) และกลูคาเนส หรือการสะสมไฟโตอเล็กซิน (phytoalexin) ในพืชอาศัยเพื่อต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรค (Rajani *et al*., 2021; Sridharan *et al*.,

2021) เช่นเชื้อรา *Glomus intraradices* ในข้าวจะชักนำยีนต้านทานในกระบวนการกรดซาลิไซลิกชักนำความต้านทานในพืช และชักนำกระบวนการการแสดงออกของยีนที่มีสารส่งสัญญาณเป็นแคลเซียม $Ca2^{+}$-mediated signaling เพื่อกระตุ้นการชักนำในพืช เช่น OsCBP และ OsCaM (Campos-Soriano *et al*., 2012; Toghueo *et al*., 2016; Moussa *et al*., 2023)

ในขณะที่เชื้อราปฏิปักษ์ที่อาศัยร่วมกับรากพืชสามารถกระตุ้นการต้านทานในพืชโดยการเพิ่มการแสดงออกของกระบวนการกรดเจสโมนิก (jasmonic acid) เป็นสามเท่าเพื่อกระตุ้นการผลิตเอนไซม์ลิโพออกซิเจเนส (lipoxygenase) และฟีนิลอะลามีนแอมโมเนีย ไลเอส (Rajani *et al*., 2021; Sridharan *et al*., 2021) เช่น เชื้อรา *Piriformospora indica* ชักนำกระบวนการต้านทานทั้งต้นพืชต่อการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าวผ่านการสะสมของออกซิเจน เปอร์ออกไซด์ (oxygen peroxide) และกระตุ้นกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidative) โดยจะกระตุ้นให้มีการสร้างซูปเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) และ กัวยาคอล เพอร์ออกซิเดส (guaiacol peroxidase) เพิ่มมากขึ้น (Ferreira *et al*., 2020; Thambugala *et al*., 2020) สารสกัดจากเชื้อราปฏิปักษ์บางชนิดก็สามารถกระตุ้นหรือชักนำการต้านทานได้โดยตรง เช่น สารสกัดผนังเซลล์ของยีสต์ *Saccharomyces pastorianus* พบว่ามีสารที่เป็นตัวกระตุ้นหรือส่งสัญญาณให้กับพืชหลายชนิด เมื่อฉีดพ่นในพืช *Arabidopsis thaliana* และ *Brassica rapa* var. *chinensis* ส่งผลให้พืชสามารถทนทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas syringae* pv. *maculicula* สาเหตุโรคใบจุด และ *Colletotrichum higginsianum* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสได้ (Ferreira *et al*., 2020; Yassin *et al*., 2022; Zehra *et al*., 2023)

กลไกนี้ได้มีการนำมาปรับใช้โดยการฉีดพ่นเชื้อราสายพันธุ์ไม่รุนแรงเพื่อกระตุ้นความต้านทานในพืชเรียกว่าการป้องกันข้าม (cross protection) เช่น การฉีดพ่นต้นฝ้ายด้วยเชื้อรา *Verticillium nigrescens* สายพันธุ์ไม่รุนแรงเพื่อกระตุ้นให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Verticillium dahlia* สาเหตุโรคเหี่ยวในฝ้าย (Khan *et al*., 2020)

การฉีดพ่นเชื้อรา *Verticillium* หรือ *Fusarium oxysporum* ที่เป็นสายพันธุ์ไม่ก่อโรคในต้นพริก พบว่าสามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora capsici*, *Verticillium dahlia* และ *Botrytis cinerea* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการฉีดพ่นดังกล่าวส่งผลให้เกิดการต้านทานโดยการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ไคติเนสและเพิ่มสารฟีนอลิกในผนังเซลล์เพื่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Thambugala *et al*., 2020; Yassin *et al*., 2022; Siebatcheu *et al*., 2023)

7.5 การแยกเชื้อราปฏิปักษ์ (Isolation of Antagonistic Fungi)

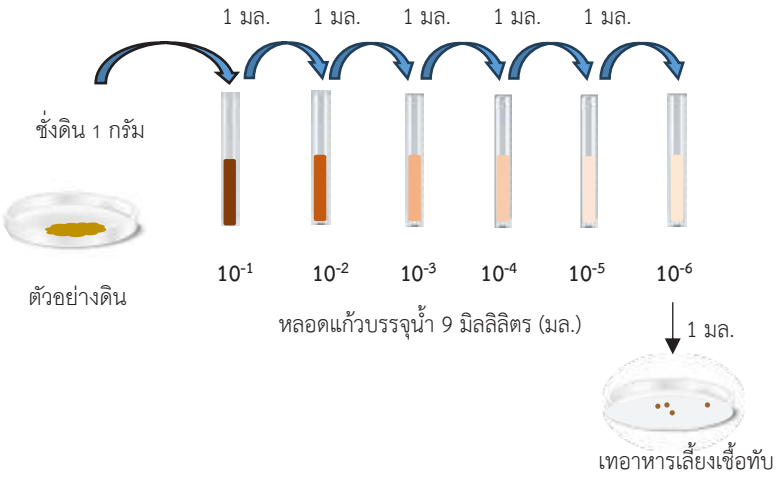
การแยกเชื้อราปฏิปักษ์ที่สร้างสปอร์ผนังบางเช่น *Trichoderma* สามารถแยกได้จากดินโดยตรงด้วยวิธี soil plate technique หรือวิธีการเจือจาง (dilution plate technique) หรือแยกจากใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method ในขณะที่การแยกเชื้อราปฏิปักษ์ที่สร้างสปอร์ผนังหนา เช่น *Talaromyces* ต้องทำการกำจัดเชื้อราที่สร้างสปอร์ที่มีผนังบางในตัวอย่างดินด้วยความร้อนก่อนโดยใช้วิธี heat treatment method หรือการใส่ 65 เปอร์เซ็นต์ เอทิล แอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) และใช้อาหารแยกเชื้อราที่มีสารอาหารต่ำ เช่น water agar (วุ้น 20 กรัมและน้ำ 1 ลิตร) หรือ half potato dextrose agar (half PDA) (มันฝรั่ง 100 กรัม น้ำตาลเด็กโตรส (dextrose) 10 กรัม วุ้น 20 กรัม และน้ำ 1 ลิตร) ในการแยกเชื้อเพื่อไม่ให้เชื้อราเจริญเติบโตเร็วเกินไป โดยอาหารที่ใช้แยกเชื้อราต้องใส่สารต้านแบคทีเรีย เช่น ผสมกรดแล็กติก (lactic acid) อัตรา 0.01 เปอร์เซ็นต์ เพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในอาหารที่ใช้แยกเชื้อรา

7.5.1 การแยกเชื้อราจากดินโดยวิธี soil plate technique

ตักตัวอย่างดินประมาณ 0.1 กรัม ใส่จานเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เกลี่ยให้ดินกระจายทั่วจาน เททับด้วยอาหารที่ใช้แยกเชื้อราผสมสารต้านแบคทีเรียให้ทั่วทั้งจาน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน จากนั้นเก็บปลายเส้นใยของเชื้อราที่เจริญขึ้นมาใส่หลอดอาหาร PDA (มันฝรั่ง 200 กรัม น้ำตาลเด็กโตรส 20 กรัม วุ้น 20 กรัมและน้ำ 1 ลิตร) (Warcaup, 1950)

7.5.2 การแยกเชื้อราโดยวิธีเจือจาง (dilution plate technique)

ตักตัวอย่างดินประมาณ 1 กรัม ใส่หลอดทดลองที่บรรจุน้ำ 9 มิลลิลิตรซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปปั่นในเครื่องเขย่าผสมสารนาน 30 วินาทีเพื่อให้ดินกระจายตัวในน้ำ จากนั้นดูดสารละลายดิน 1 มิลลิลิตรด้วยไมโครปิเปต (micropipette) ใส่ในหลอดแก้วที่มีน้ำอยู่ 9 มิลลิลิตร ทำให้สารละลายดินเจือจางลง 10 เท่า ทำการเจือจางดินรวม 5 ครั้งเป็นลำดับ จะได้สารละลายดินที่มีความเจือจางที่ 10^{-6} จากนั้นดูดสารละลายดินที่มีความเจือจางที่ 10^{-6} จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่จานเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วเกลี่ยให้ทั่วจานโดยใช้แท่งแก้วรูปตัวแอลและเททับด้วยอาหารที่ใช้แยกเชื้อราผสมสารต้านแบคทีเรียให้ทั่วทั้งจาน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน จากนั้นเก็บปลายเส้นใยของเชื้อราที่เจริญขึ้นมาใส่หลอดอาหาร PDA (ภาพที่ 7.4) (Harris and Sommers, 1968)



ภาพที่ 7.4 วิธีการแยกเชื้อราโดยวิธีเจือจาง (จัดรูปแบบโดย BioRender.com)
ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

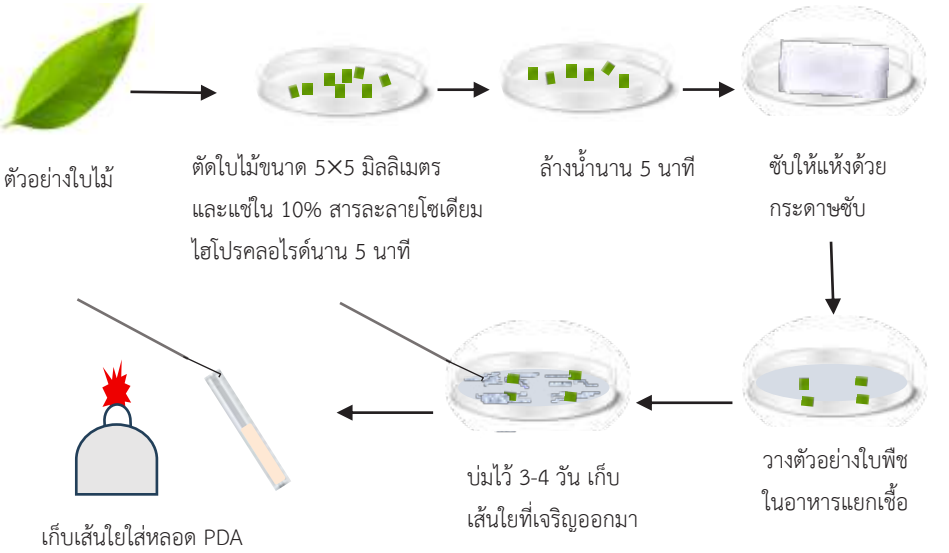
7.5.3 การแยกเชื้อราจากผิวใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method

นำตัวอย่างใบพืชที่ต้องการแยกเชื้อมาล้างน้ำผ่านน้ำไหลจากก๊อกน้ำนาน 1-2 นาที ผึ่งให้แห้งในที่ร่มนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างใบพืชมาตัดเป็นชิ้นขนาด 5×5 มิลลิเมตร แล้วนำมาวางในจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหารแยกเชื้อราที่ผสมสารต้านแบคทีเรีย จำนวน 4 ชิ้น

ต่อจาน วิธีนี้จะแยกเชื้อราที่เจริญบนผิวใบ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วันจากนั้นเก็บปลายเส้นใยของเชื้อราที่เจริญจากชิ้นส่วนพืชใส่หลอดอาหาร PDA (Agrios, 2005)

7.5.4 การแยกเชื้อราที่เจริญในเนื้อเยื่อใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method

นำตัวอย่างใบพืชที่ต้องการแยกเชื้อมาล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้งในที่ร่มนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างใบพืชมาตัดเป็นชิ้นขนาด 5×5 มิลลิเมตร นำมาแช่ใน 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโซเดียม ไฮโปรคลอไรด์ (sodium hypochloride) นาน 5 นาที เพื่อขจัดเชื้อที่ผิวใบให้หมด จากนั้นนำตัวอย่างใบพืชมาล้างโซเดียม ไฮโปรคลอไรด์ ออกด้วยการแช่ในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ นาน 5 นาที 3 ครั้ง นำชิ้นส่วนพืชมาซับให้แห้งในกระดาษซับที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วและนำมาวางในจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหารแยกเชื้อราผสมสารต้านแบคทีเรีย จำนวน 4 ชิ้นต่อจาน วิธีนี้จะใช้แยกเชื้อราที่เจริญในเนื้อเยื่อใบพืช บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน จากนั้นเก็บปลายเส้นใยของเชื้อราที่เจริญจากชิ้นส่วนพืชใส่หลอดอาหาร PDA (ภาพที่ 7.5) (Agrios, 2005)



ภาพที่ 7.5 วิธีการแยกเชื้อราที่เจริญในเนื้อเยื่อใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method (จัดรูปแบบโดย BioRender.com)
ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

7.5.5 การแยกเชื้อราโดยใช้ความร้อน (Heat treatment method)

วิธีการนี้จะใช้แยกเชื้อราที่สร้างสปอร์ผนังหนา เช่น *Talaromyces* โดยตักตัวอย่างดิน 5 กรัม ใส่หลอดแก้วที่บรรจุน้ำ 5 มิลลิลิตรซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปปั่นในเครื่องเขย่าผสมสารนาน 30 วินาที เพื่อให้ดินกระจายตัวในน้ำ จากนั้นแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เทน้ำออกจากหลอดทดลอง ตักตัวอย่างดินในหลอดประมาณ 0.5 กรัม ใส่จานเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เกลี่ยให้ดินกระจายทั่วจาน เททับด้วยอาหารที่ใช้แยกเชื้อราที่ผสมสารต้านแบคทีเรียให้ทั่วทั้งจาน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5-7 วัน จากนั้นเก็บปลายเส้นใยของเชื้อราที่เจริญขึ้นมาใส่หลอดอาหาร PDA (Warcup, 1951)

7.5.6 การแยกเชื้อราโดยใช้แอลกอฮอล์ (Alcohol Treatment Method)

วิธีการนี้จะใช้แยกเชื้อราที่สร้างสปอร์ผนังหนา เช่น *Talaromyces* เช่นเดียวกับวิธีการใช้ความร้อน โดยตักตัวอย่างดินประมาณ 5 กรัม ใส่หลอดทดลองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วและใส่ 65 เปอร์เซ็นต์ เอทิล แอลกอฮอล์ 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นในเครื่องเขย่าผสมสารนาน 30 วินาทีเพื่อให้ดินกระจายตัวในเอทิล แอลกอฮอล์ ตั้งทิ้งไว้นาน 10 นาที เทเอทิลแอลกอฮอล์ออกจากหลอดทดลอง ตักตัวอย่างดินในหลอดประมาณ 0.5 กรัม ใส่จานเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เกลี่ยให้ดินกระจายทั่วจาน เททับด้วยอาหารที่ใช้แยกเชื้อราที่ผสมสารต้านแบคทีเรียให้ทั่วทั้งจาน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5-7 วัน จากนั้นเก็บปลายเส้นใยของเชื้อราที่เจริญขึ้นมาใส่หลอดอาหาร PDA (Warcup and Baker, 1963)

7.6 การจัดจำแนกชนิด (Fungal Classification)

การจัดจำแนกชนิดเชื้อราปฏิปักษ์เช่น *Trichoderma* และ *Talaromyces* สามารถจัดจำแนกในเบื้องต้นจากลักษณะโคโลนี รูปร่างและลักษณะของสปอร์ ทั้งที่เป็นสปอร์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิงที่มีรายงานมาก่อน อย่างไรก็ตามลักษณะสัณฐานวิทยาเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ ปัจจุบันจึงนิยมใช้เทคนิคทางด้านอณูชีวโมเลกุลโดยเฉพาะการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บนสายดีเอ็นเอ ด้วยการเพิ่มปริมาณสายดีเอ็นเอด้วยเทคนิค

polymerase chain reaction (PCR) หรือเทคนิคพีซีอาร์ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมและเป็นที่ยอมรับ

7.6.1 การจัดจำแนกชนิดของเชื้อราโดยเทคนิคพีซีอาร์และการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ (Fungal Classification by PCR and Nucleotide Analysis)

วิธีการนี้สามารถใช้ในการจัดจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคพืชและเชื้อราปฏิปักษ์โดยการเพิ่มจำนวนปริมาณสารพันธุกรรมให้ครอบคลุมบริเวณตำแหน่งสายดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลีเมอเรส (polymerase) จากนั้นวิเคราะห์การเรียงตัวของเบส 4 ชนิด ได้แก่ อะดีนีน (adenine) ไซโตซีน (cytosine) กัวนีน (guanine) และ ไทมีน (thymine) การเพิ่มปริมาณสายดีเอ็นเอด้วยเทคนิคพีซีอาร์จะเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยอาศัยหลักการการจำลองตัวเองในธรรมชาติ ซึ่งดีเอ็นเอจะอยู่เป็นสายคู่ประกอบด้วยเบส อะดีนีน ไซโตซีน กัวนีน และ ไทมีน การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในหลอดทดลองโดยเทคนิคพีซีอาร์จะมี 3 ขั้นตอน (Li *et al*., 2025)

1) Denaturation เป็นขั้นตอนการแยกสายดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบจากสายคู่ให้เป็นสายเดี่ยวโดยใช้อุณหภูมิในช่วง 92-95 องศาเซลเซียส

2) Annealing เป็นขั้นตอนที่ลดอุณหภูมิลงให้อยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไพรเมอร์ (primer) ซึ่งเป็นดีเอ็นเอสายสั้นๆ ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์จำนวน 17-24 เบส เกาะติดกับดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบ ซึ่งเชื้อราส่วนใหญ่จะวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ โดยใช้ไพรเมอร์ที่ยีน internal transcribed spacer (ITS), translation elongation factor 1-α (TEF1-α), RNA polymerase II (RPB1), RPB2 หรือ β-tubulin เป็นดีเอ็นเอบาร์โค๊ด (ตารางที่ 7.1) ซึ่งการใช้ข้อมูลจากยีนหลายบริเวณจะทำให้การระบุชนิดของสายพันธุ์มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งแต่ละไพรเมอร์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในเกาะติดดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน

3) Extension เป็นขั้นตอนการสร้างดีเอ็นเอสายใหม่โดยสังเคราะห์ต่อจากส่วนปลาย 3’ ของไพรเมอร์ โดยขยายสายดีเอ็นเอจากทิศทาง 5’ ไป 3’ บนดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ดีเอ็นเอ โพลิเมอร์เรส (DNA polymerase) ซึ่งเอนไซม์นี้ทำงานได้ที่อุณหภูมิ 72-75 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างไพร์เมอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์เพื่อการระบุชนิดเชื้อรา

ตำแหน่ง	Primer Sequence 5'-3'	เอกสารอ้างอิง
Internal Transcribed Spacer region of the rRNA	ITS4 - TCCTCCGCTTATTGATATGC ITS5- GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG	White *et al*., 1990
Second largest subunit of RNA polymerase II (RPB2)	RPB2-5f - GAYGAYMGWGATCAYTTYGG RPB2-7cR - CCCATRGCTTGYTTRCCCAT	Liu *et al*., 1999
Beta-tubulin	Bt2a - GGTAACCAAATCGGTGCTGCTTTC Bt2b - ACCCTCAGTGTAGTGACCCTTGGC	Glass and Donaldson, 1995
Translation elongation factor 1-alpha	EF1-1018F - GAYTTCATCAAGAACATGAT EF1-1620R - GACGTTGAADCCRACRTTGTC	Carbone and Kohn, 1999
γ-actin	act-512F - ATGTGCAAGGCCGGTTTCGC act-783R - TACGAGTCCTTCTGGCCCAT	Carbone and Kohn, 1999

ที่มา: ดัดแปลงจาก Raja *et al*. (2017)

การทำพีซีอาร์จะดำเนินการในเครื่องเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 นับเป็นจำนวน 1 รอบ ให้ผลผลิตเป็นดีเอ็นเอสายคู่ที่มีลำดับเบสเป็นคู่สมกับดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และเมื่อทำพีซีอาร์ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 หมุนเวียนไปอีกหลายๆ รอบ ปริมาณดีเอ็นเอจะเพิ่มขึ้นได้หลายเท่าทวีคูณ โดยปริมาณดีเอ็นเอจะเพิ่มตามจำนวนรอบในการทำพีซีอาร์ โดยปริมาณดีเอ็นเอจะเท่ากับ 2^n เมื่อ n เท่ากับจำนวนรอบ (Raja *et al*., 2017)

จากนั้นนำผลผลิตพีซีอาร์มาวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ (DNA sequencing) และนำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลใน Genbank

(https://www.ncbi.nlm.nih.gov) โดยใช้โปรแกรม Nucleotide BLAST ในฐานข้อมูล National Center for Biotechnology Information (NCBI) เพื่อจำแนกสกุลและชนิด โดยเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อราแต่ละชนิดที่มีการรายงานมาก่อน การอ้างอิงในงานวิจัยต้องยื่นลำดับนิวคลีโอไทด์ใน Genbank เพื่อขอรับ accession number ผ่านระบบ NCBI Submission Tool และควรระบุแหล่งที่มาของเชื้อราให้ชัดเจนดังตัวอย่างในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 เชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* ที่แยกได้จากใบยางพาราที่เก็บที่จังหวัดกระบี่ ระยองและสุราษฎร์ธานี

Trichoderma	**Genbank**			**แหล่งที่มา**
	ITS[1/]	***tef1***	***rpb2***	
T. asperellum KUFA0433	OP601445	OP681535	OP681547	ตำบลขุนทะเล อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 8°59'32.2"N 99°23'00.8"E 8.992278, 99.383556
T. asperellum KUFA0434	OP601446	OP681536	OP681548	ตำบลห้วยพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง 12°45'55.0"N 101°09'53.9"E, 12.765277, 101.164972
T. harzianum KUFA0438	OP601450	OP681540	OP681552	ตำบลปากพนัง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 8°23'20.3"N 99°59'01.3"E 8.388984, 99.983681
T. hamatum KUFA0441	OP601453	OP681543	OP681555	ตำบลเขาทอง อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ 8°11'37.9"N 98°49'33.9"E 8.193859, 98.826073

[1/]internal transcribed spacer (ITS), translation elongation factor (*tef*1) และ RNA polymerase subunit II (*rpb*2)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sirikamonsathien *et al*. (2023)

7.7 การทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ (Testing of Antagonistic Activity)

หลังจากการแยกและจัดจำแนกสกุลและชนิดเชื้อราจากดินหรือชิ้นส่วนพืชแล้ว ต้องศึกษาหาข้อมูลว่าเชื้อราที่แยกได้ต้องไม่เป็นเชื้อสาเหตุโรคพืช โรคของมนุษย์ หรือสัตว์ และไม่สร้างสารพิษที่อันตราย รวมทั้งหาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น จึงคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อรามาทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชที่สนใจ โดยในเบื้องต้นสามารถทดสอบคุณสมบัติการแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหารโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน หรือคุณสมบัติในการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต้านการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการ จากนั้นจะทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรคพืชที่ต้องการภายใต้สภาวะโรงเรือนและแปลงปลูก ตามลำดับ

7.7.1 การทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ภายใต้ห้องปฏิบัติการ (Testing of Antagonistic Activity under Laboratory)

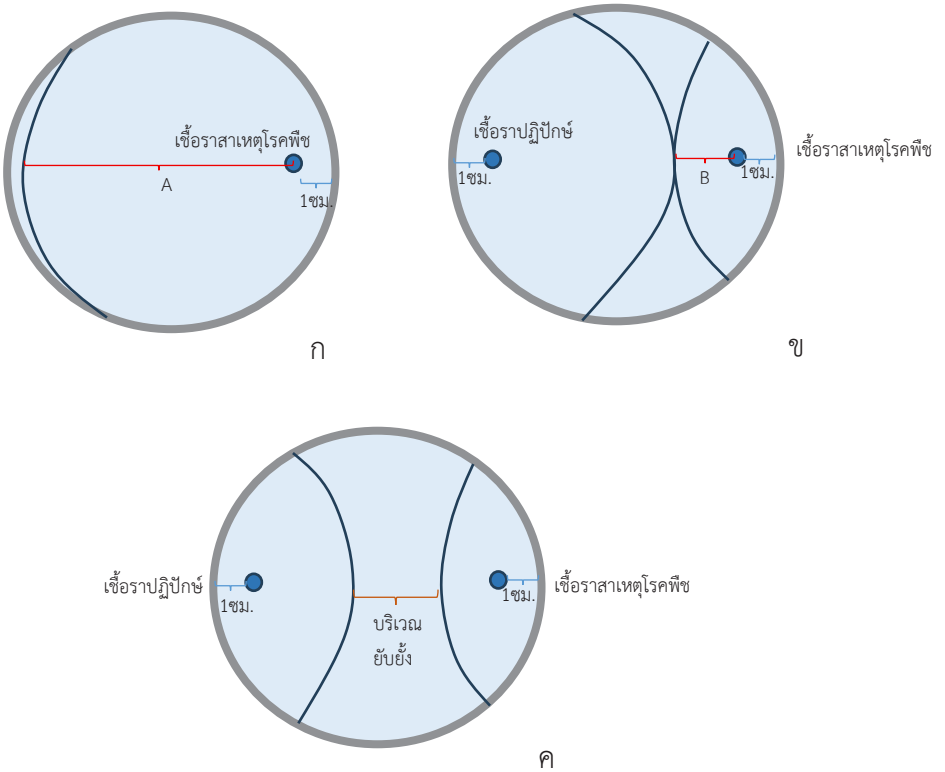
7.7.1.1 ทดสอบคุณสมบัติการแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหารโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน

ทำการเลี้ยงเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบและเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหาร PDA นาน 7 วัน จากนั้นตัดเส้นใยเชื้อราด้วยที่ตัดทรงกลม (steel borer) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบ วางลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA โดยวางห่างจากขอบจาน 1 เซนติเมตร และตัดเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืชวางลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อเดียวกัน โดยวางห่างจากขอบจาน 1 เซนติเมตร ให้มีทิศทางตรงกันข้ามกับเชื้อราปฏิปักษ์และเลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรคพืชเดี่ยวๆ โดยไม่มีเชื้อราปฏิปักษ์เป็นชุดควบคุม นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7-10 วันขึ้นกับการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค จากนั้นวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ในชุดควบคุม (ภาพที่ 7.6ก) และวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เลี้ยงร่วมกับเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบ (ภาพที่ 7.6ข) เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Skidmore and Dickinson, 1976) โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช = [(A-B)/A] x 100

โดย A คือ รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ในชุดควบคุม

B คือ รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ที่เลี้ยงร่วมกับเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบ



ภาพที่ 7.6 การทดสอบคุณสมบัติการแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหารของเชื้อราปฏิปักษ์โดยวิธีเลี้ยงคู่กัน

ก. การวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคที่เจริญในจานเลี้ยงเชื้อ PDA ในชุดควบคุม (A)

ข. การวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ที่เลี้ยงร่วมกับเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบ (B)

ค. แสดงบริเวณยับยั้งการเจริญระหว่างโคโลนีของเชื้อราปฏิปักษ์และเชื้อราสาเหตุโรคพืช

ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

ซึ่งในแต่ละการทดลองต้องมีการทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำและมีการทำซ้ำอีกครั้ง อีกอย่างน้อย 3 ซ้ำ นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากผลการทดลอง การทดสอบแบบเลี้ยงคู่กันนี้จะทำให้ทราบว่าเชื้อราปฏิปักษ์ที่ทดสอบสามารถเจริญเติบโตได้เร็วเพื่อแก่งแย่งพื้นที่อยู่และสารอาหาร รวมทั้งยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หรือไม่ นอกจากนี้ยังสามารถทราบได้ว่าเชื้อราปฏิปักษ์สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้หรือไม่ โดยสังเกตุบริเวณยับยั้งการเจริญระหว่างโคโลนีของเชื้อราปฏิปักษ์และเชื้อราสาเหตุโรคพืช (ภาพที่ 7.6ค) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

7.7.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากเชื้อราปฏิปักษ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Testing of Crude Extract of Fungi against Plant Pathogen)

ในกรณีที่สังเกตุเห็นบริเวณยับยั้งจากการทดสอบแบบเลี้ยงคู่กัน แสดงว่าเชื้อราปฏิปักษ์สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช ซึ่งสามารถสกัดสารจากเชื้อราโดยการเลี้ยงเชื้อราในอาหารเหลว เช่น potato dextrose broth (PDB) (มันฝรั่ง 200 กรัม น้ำตาลเด็กโตรส 20 กรัม และน้ำ 1 ลิตร) หรืออาหารแข็ง เช่น ในข้าวสุก จากนั้นสกัดสารทุติยภูมิจากเชื้อราโดยใช้สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น เฮกเซน (hexane) จะได้สารสกัดที่มีขั้วต่ำ เอทานอล (ethanol) จะได้สารสกัดที่มีขั้วสูงและเอทิลอะซีเตต (ethyl acetate) จะได้สารสกัดที่มีขั้วปานกลาง การเลือกสารที่ใช้สกัดจะขึ้นกับกลุ่มสารที่สนใจศึกษา จากนั้นทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) และนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืชโดยวิธีการเจือจางในอาหาร PDA (Dethoup *et al*., 2018)

ดังตัวอย่างเช่น การสกัดสารทุติยภูมิจากเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 โดยเชื้อเลี้ยงเชื้อราลงในอาหาร PDB จากนั้นบ่มเชื้อบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที นาน 5 วัน เพื่อให้เชื้อเจริญเป็นสารเขวนลอยของเส้นใยและสปอร์ เตรียมข้าวขาวหุงสุก 250 กรัมใส่ฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร ปิดจุกด้วยสำลีนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นนำเชื้อรา *T. tratensis* KUFA0091 ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB อายุ 5 วัน เทใส่ในข้าวขาวที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อปริมาณ 50 มิลลิลิตรต่อฟลาสก์ บ่มไว้ 30 วัน เมื่อครบกำหนดนำข้าวขาวที่มีเชื้อราเจริญอยู่ใส่ลงไปในโหลแก้วขนาด 10 ลิตร เติมเอทิล อะซีเตต ลงไปให้ท่วมข้าวที่มีเชื้อราเจริญอยู่ปิดฝาให้สนิท ทิ้งไว้ 7 วัน

จากนั้นเทส่วนของเอทิล อะซีเตต ออกกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกเอาเมล็ดข้าวและส่วนของเชื้อราออก นำส่วนที่กรองได้ไประเหยเอาเอทิล อะซีเตตออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน จนได้สารสกัดหยาบเอทิล อะซีเตต (ภาพที่ 7.7) (Dethoup *et al*., 2018)



เลี้ยงเชื้อราลงในอาหาร PDB จากนั้นบ่มเชื้อบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที นาน 5 วัน



เลี้ยงเชื้อราลงฟลาสก์ที่บรรจุข้าวสุกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว



บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 วัน



เทข้าวที่มีเชื้อราเจริญอยู่ออกใส่โหลแล้วเทเอทิล อะซีเตต ใส่ให้ท่วมข้าว ทิ้งไว้นาน 7 วัน



กรองสารละลายที่ได้ และทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน



สารสกัดเอทิล อะซีเตต จากเชื้อรา

ภาพที่ 7.7 การสกัดสารสกัดหยาบจากเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091

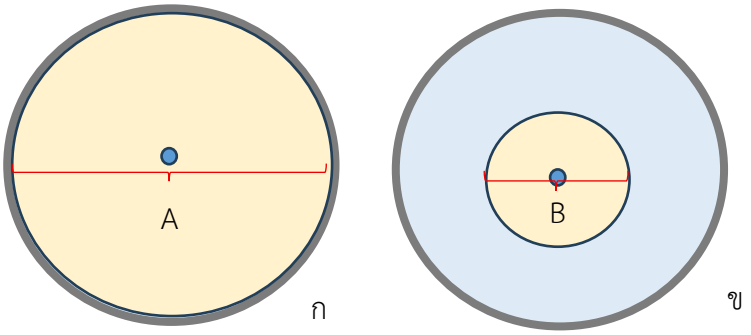
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการเจือจางสารโดยการเจือจางสารสกัดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายที่ 100 1,000 และ 10,000 พีพีเอ็ม เลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรคที่ต้องการทดสอบในจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหาร PDA บ่มไว้นาน 7 วัน เจาะชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชเจริญอยู่ขนาด 0.5 เซนติเมตร วางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสมสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ และเชื้อราสาเหตุโรคในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ไม่ผสมสารสกัดเพื่อเป็นชุดควบคุม บ่มจานเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน (Dethoup *et al*., 2018) จากนั้นวัดรัศมีของโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (ภาพที่ 7.8) โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค = [(A-B)/A] x 100

โดย A คือ รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ในชุดควบคุม

B คือ รัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 7.8 การวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมและไม่ผสมสารสกัดจากเชื้อรา

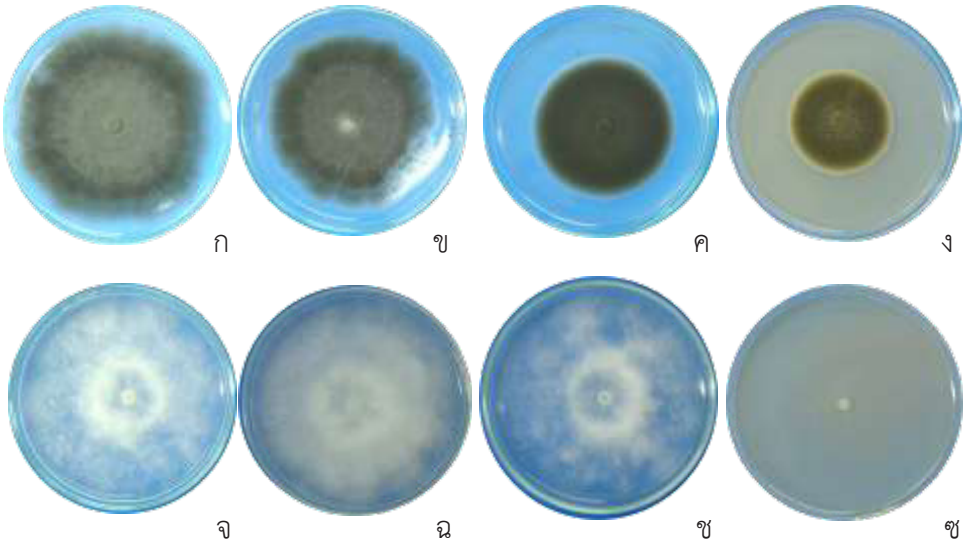
ก. การวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ในชุดควบคุม (A)

ข. การวัดรัศมีโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมสารสกัดที่ความเข้มข้นที่ทดสอบ (B)

ที่มา: วาดโดย ธิดา เดชฮวบ

โดยผลการทดลองจะพบว่าสารสกัดที่ความเข้มข้นสูงจะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ ดังตัวอย่างผลของสารสกัดจากเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเจริญของเชื้อรา *Alternaria brassicicola* KUFA 0047 และ *Phytophthora palmivora* KUFA 0048 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นสูงที่ 10,000 พีพีเอ็ม สารสกัดจะยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความเข้มข้นลดลง (ภาพที่ 7.9) อย่างไรก็ตามในกรณีที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม สารสกัดยังไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ แสดงว่าสารสกัดไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ทดสอบหรือควรเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดเพื่อให้ได้สารกลุ่มอื่น

กรณีที่สารสกัดที่ความเข้มข้นต่ำสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช แสดงว่าสารสกัดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เชื้อราสร้างขึ้นสามารถยับยั้งโรคพืชได้ ซึ่งสามารถนำสารสกัดไปทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองต่อไป รวมทั้งนำสารสกัดที่ได้ไปแยกให้เป็นสารบริสุทธิ์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี (chromatography) แบบต่างๆ และจำแนกชนิดของสารบริสุทธิ์ด้วยการตรวจวิเคราะห์ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Nuclear magnetic resonance spectroscopy) สามารถวิเคราะห์เพื่อทราบชนิดของสารที่เชื้อราปฏิปักษ์สร้างขึ้น แต่เนื่องจากไม่ใช่สารทุกชนิดที่เชื้อราสร้างขึ้นจะมีฤทธิ์ต้านเชื้อรา จึงต้องนำมาสารบริสุทธิ์ที่แยกได้มาทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราอีกครั้ง ด้วยวิธีต่างๆ เช่น Minimum Inhibitory Concentration (MIC) จะทำให้ทราบความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ ถ้าสารที่ความเข้มข้นต่ำที่น้อยกว่า 250 พีพีเอ็ม หรือเทียบเท่าความเข้มข้นของสารเคมีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ นับว่าเป็นสารออกฤทธิ์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งโรคพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชในเบื้องต้น ต้องมีการศึกษาต่อภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง



ภาพที่ 7.9 ตัวอย่างผลของสารสกัดจากเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Alternaria brassicicola* KUFA 0047 และ *Phytophthora palmivora* KUFA 0048 บ่มที่ 28±2 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน

ก. *A. brassicicola* KUFA 0047 ชุดควบคุม

ข. *A. brassicicola* KUFA 0047 เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารสกัด 100 พีพีเอ็ม

ค. *A. brassicicola* KUFA 0047 เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารสกัด 1,000 พีพีเอ็ม

ง. *A. brassicicola* KUFA 0047 เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารสกัด 10,000 พีพีเอ็ม

จ. *P. palmivora* KUFA 0048 ชุดควบคุม

ฉ. *P. palmivora* KUFA 0048 เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารสกัด 100 พีพีเอ็ม

ช. *P. palmivora* KUFA 0048 เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารสกัด 1,000 พีพีเอ็ม

ซ. *P. palmivora* KUFA 0048 เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารสกัด 10,000 พีพีเอ็ม

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

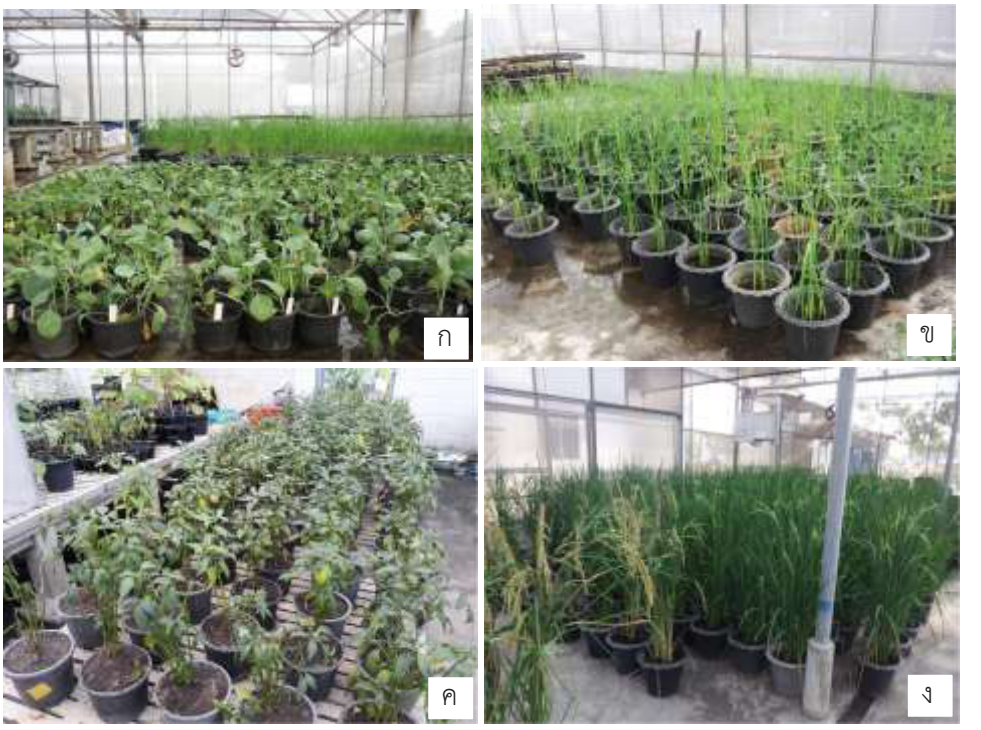
7.7.2 การทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ในโรงเรือนปลูกพืชทดลอง (Testing of Antagonistic Activity under Greenhouse Condition)

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชจะขึ้นกับชนิดของโรคพืชที่ต้องการทดสอบ โดยส่วนใหญ่จะทดสอบประสิทธิภาพของสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดจากเชื้อราปฏิปักษ์โดยการฉีดพ่นที่ใบหรือใส่ในดิน การปลูกพืชจะปลูกในกระถาง อย่างน้อย 5 ซ้ำ (กระถาง) ในแต่ละกรรมวิธีการทดลองและมีการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง ซึ่งการทดสอบจะอ้างอิงอายุพืชในการเข้าทำลายของโรคพืชตามธรรมชาติ เช่น โรคใบจุดดำคะน้า ที่เกิดจากการเข้าทำลายเชื้อรา *Alternaria brassicicola* จะเข้าทำลายในช่วงคะน้าอายุ 20-30 วัน โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวที่เกิดจากการเข้าทำลายเชื้อรา *Bipolaris oryzae* จะเข้าทำลายในช่วงข้าวแตกกอหรือข้าวอายุ 30 วัน โรคแอนแทรคโนสของพริกที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Colletotrichum capsici* สามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ขณะที่โรคเมล็ดด่างจะเข้าทำลายรวงข้าวในช่วงข้าวออกรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 7.10) ดังนั้นการทดสอบจะต้องสอดคล้องกับการเกิดโรคตามธรรมชาติ และทดสอบด้วยเชื้อราสาเหตุโรคพืชสายพันธุ์รุนแรงที่มีการทดสอบการเกิดโรคมาก่อนตามวิธีของ Koch' postulation (Agrios, 2005)

ในการทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง สามารถทดสอบคุณสมบัติป้องกัน (protective activity) คุณสมบัติป้องกันการเข้าทำลายระยะเริ่มต้น (curative activity) และ คุณสมบัติกำจัด (eradicative activity) ของเชื้อราปฏิปักษ์ได้ โดยมีการดำเนินการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติป้องกัน ต้องปลูกเชื้อราปฏิปักษ์กับพืชทดลองก่อน โดยการฉีดพ่นหรือปลูกเชื้อในดินไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง แล้วจึงปลูกเชื้อราสาเหตุโรคพืชลงไป ในการประเมินผลจะประเมินผลหลังจากปลูกเชื้อราสาเหตุโรคแล้ว 7 วันหรือ 14 วัน ขึ้นกันชนิดของโรค

2. การทดสอบคุณสมบัติป้องกันการเข้าทำลายระยะเริ่มต้น ในการทดสอบคุณสมบัตินี้ต้องปลูกเชื้อราสาเหตุโรคพืชกับพืชทดลอง บ่มไว้ 24-72 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชเข้าทำลายพืชในระยะเริ่มต้น แล้วจึงปลูกเชื้อราปฏิปักษ์ลงไป ในการประเมินผลจะประเมินผลในการควบคุมโรคหลังจากปลูกเชื้อราปฏิปักษ์แล้ว 7 วันหรือ 14 วัน ขึ้นกันชนิดของโรค



ภาพที่ 7.10 ตัวอย่างการปลูกพืชเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชต่างๆ ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

ก. การปลูกคะน้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคใบจุดดำคะน้า ที่เกิดจากการเข้าทำลายเชื้อรา *Alternaria brassicicola*

ข. การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาล ที่เกิดจากการเข้าทำลายเชื้อรา *Bipolaris oryzae*

ค. การปลูกพริกเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของพริกที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum capsici*

ง. การปลูกข้าวกข57 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคเมล็ดด่าง

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

3. คุณสมบัติกำจัด (eradicative activity) ในการทดสอบคุณสมบัตินี้ต้องปลูกเชื้อราสาเหตุโรคพืชกับพืชทดลอง บ่มไว้ 7-10 วัน หรือจนปรากฏอาการของโรค 5-10 เปอร์เซ็นต์

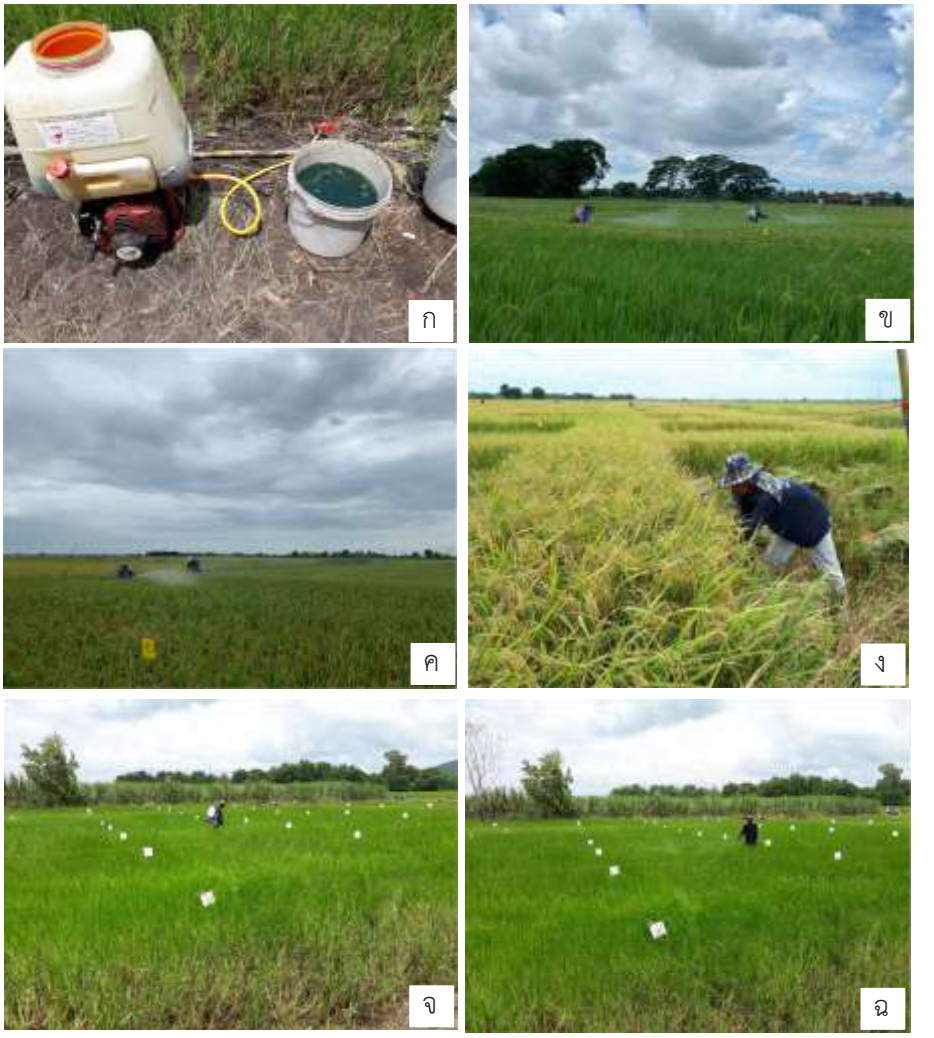
แล้วจึงปลูกเชื้อราปฏิปักษ์โรคพืชลงไป ในการประเมินผลจะประเมินผลขึ้นกันชนิดของโรค โดยพิจารณาจากใบที่เป็นโรคจะไม่เป็นโรคเพิ่มขึ้นหรือใบใหม่ที่เจริญออกมาต้องไม่เป็นโรค

ในการประเมินโรคสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคหรือความรุนแรงของโรค ตามวิธีการของกลุ่มงานวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร (2564) หรือเอกสารต่างๆ ที่มีรายงานมาก่อน เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในสภาพโรงเรือนปลูกพืชเรียบร้อยแล้ว อาจคัดเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการควบคุมโรคที่ทดสอบและรองลงมา ประมาณ 5-10 กรรมวิธี มาทดสอบการควบคุมโรคพืชในแปลงปลูกต่อไป

7.7.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในแปลงปลูก (Testing of Efficacy of Antagonistic Fungi under Field Condition)

การทดสอบการควบคุมโรคพืชในแปลงปลูก ควรทดสอบในแปลงปลูกที่มีการเข้าทำลายของโรคอยู่แล้ว (natural infection) ซึ่งการวางแผนการทดลองมีความสำคัญมาก ต้องมีการทำซ้ำไม่น้อยกว่า 5 ซ้ำและมีการทำอีกรอบอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง โดยดำเนินการทดลองในปีเดียวกันแต่คนละที่ หรือคนละฤดูปลูกเพื่อประเมินผลหาค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานผลที่ได้ นอกจากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์แล้ว อาจมีการทดสอบถึงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น การใส่สารเสริมประสิทธิภาพ สารจับใบต่างๆ พันธุ์พืชที่อ่อนแอ ระบบปลูกนาดำ นาหว่าน เป็นต้น (ภาพที่ 7.11) ทั้งนี้การทดสอบในแปลงปลูกจะได้รับอิทธิผลของสภาพอากาศและปริมาณฝน ซึ่งจะส่งผลต่อผลการทดลอง

ในการประเมินโรคสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคหรือความรุนแรงของโรค ตามวิธีการของกลุ่มงานวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร (2564) หรือเอกสารต่างๆ ที่มีรายงานมาก่อน ควรมีการเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ ซึ่งจะต้องดำเนินการเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) สารเคมีหรือชีวภัณฑ์ที่เกษตรกรใช้อยู่ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและผลผลิตที่ได้



ภาพที่ 7.11 ตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการป้องกันกำจัดโรคข้าว ภายใต้สภาพแปลงปลูก

ก.-ง. การทดสอบเพื่อควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าว กข57 ในแปลงปลูกแบบนาดำ

จ.-ฉ. การทดสอบเพื่อควบคุมโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในแปลงปลูกแบบนาดำ

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

อย่างไรก็ตามการทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการ โรงเรือนปลูกพืชทดลองและแปลงปลูกสามารถดำเนินการทดสอบได้หลากหลายรูปแบบนอกเหนือจากที่กล่าวไว้ในบทนี้ ซึ่งได้มีตัวอย่างการศึกษาวิจัยในการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* และ *Talaromyces* ในการควบคุมโรคพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ในบทที่ 8-9 ทั้งการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลองและแปลงปลูก ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในด้านการใช้เชื้อราปฏิปักษ์จากแหล่งต่างๆ ในการควบคุมโรคพืช

ทั้งนี้หากเชื้อราปฏิปักษ์มีประสิทธิภาพสูงในการทดสอบในสภาพแปลงปลูกและได้รายงานผลการวิจัยแล้ว ถ้าประสงค์จะจัดจำหน่ายเพื่อการควบคุมโรคพืชในเชิงพานิชย์จะต้องมีการขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร โดยมีรายละเอียดตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. ๒๕๓๕ และประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การขึ้นทะเบียนการออกใบสำคัญและการต่ออายุใบสำคัญการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายที่กรมวิชาการเกษตรรับผิดชอบ พ.ศ. ๒๕๕๑ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2566)

7.8 บทสรุป

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเชื้อราปฏิปักษ์เพื่อใช้ป้องกันกำจัดโรคพืชทดแทนการใช้สารเคมีจำนวนมาก เพื่อลดการใช้สารเคมีในภาคการเกษตรและช่วยลดการกีดกันทางการค้า ทั้งนี้มีรายงานเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคพืชหลายชนิด โดยเฉพาะเชื้อรา *Trichoderma* spp. และ *Talaromyces* spp. และมีการพัฒนารูปแบบชีวภัณฑ์ต่างๆ เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการควบคุมโรคและการคงอยู่ของการมีชีวิตในผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งเพื่อช่วยส่งเสริมกลไกปฏิปักษ์ของเชื้อราในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช ได้แก่ การแข่งขันเพื่อแย่งที่อยู่และอาหาร การสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต้านจุลินทรีย์ ชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน และสร้างสภาวะของการเป็นปรสิต

การแยกเชื้อราปฏิปักษ์ที่สร้างสปอร์ผนังบางเช่น *Trichoderma* สามารถแยกได้จากดินโดยตรงด้วยวิธี soil plate technique หรือวิธีการเจือจางหรือแยกจากใบพืชโดยวิธี tissue transplanting method ในขณะที่การแยกเชื้อราปฏิปักษ์ที่สร้างสปอร์ผนังหนา เช่น *Talaromyces* ต้องทำการกำจัดเชื้อราที่สร้างสปอร์ที่มีผนังบางในตัวอย่างด้วย

ความร้อนก่อนโดยใช้วิธี heat treatment method หรือการใส่ 65 เปอร์เซ็นต์ เอทิลแอลกอฮอล์ และใช้อาหารแยกเชื้อที่มีสารอาหารต่ำ ในส่วนของการจัดจำแนกชนิดเชื้อราปฏิปักษ์นิยมใช้เทคนิคทางด้านอณูชีวโมเลกุลโดยเฉพาะการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บนสายดีเอ็นเอ ด้วยการเพิ่มปริมาณสายดีเอ็นเอด้วยเทคนิค polymerase chain reaction ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมและเป็นที่ยอมรับ

หลังจากการแยกและจัดจำแนกสกุลและชนิดเชื้อราจากดินหรือชิ้นส่วนพืชมาแล้ว ต้องศึกษาหาข้อมูลว่าเชื้อราที่แยกได้ต้องไม่เป็นเชื้อสาเหตุโรคพืช โรคของมนุษย์ หรือสัตว์ และไม่สร้างสารพิษที่อันตราย รวมทั้งหาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเชื้อราปฏิปักษ์ที่ต้องการทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น จึงคัดเลือกสายพันธุ์มาทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่สนใจ โดยในเบื้องต้นสามารถทดสอบคุณสมบัติการแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหารโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน หรือทดสอบคุณสมบัติในการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต้านการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการ จากนั้นจะทดสอบคุณสมบัติการควบคุมโรคพืชที่ต้องการภายใต้สภาวะโรงเรือนและแปลงปลูกตามลำดับ โดยในการทดสอบภายใต้สภาวะโรงเรือนปลูกพืชทดลอง สามารถทดสอบคุณสมบัติป้องกัน คุณสมบัติป้องกันการเข้าทำลายระยะเริ่มต้นและคุณสมบัติกำจัดได้ เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในสภาพโรงเรือนปลูกพืชเรียบร้อยแล้ว จึงคัดเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการควบคุมโรคพืชและรองลงมาประมาณ 5-10 กรรมวิธี มาทดสอบการควบคุมโรคพืชในแปลงปลูก ทั้งนี้หากเชื้อราปฏิปักษ์มีประสิทธิภาพสูงในการทดสอบในสภาพแปลงปลูกและได้รายงานผลการวิจัยแล้ว ถ้าประสงค์จะจัดจำหน่ายเพื่อการควบคุมโรคพืชในเชิงพานิชย์ต้องมีการขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร

7.9 เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 2564. คำแนะนำการจัดทำแผนการทดลองประสิทธิภาพ สารเคมีป้องกันกำจัดโคพืช. กรมวิชาการเกษตร. 204 หน้า

ธิดา เดชฮวบ. 2559. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช. บริษัท เอเชีย ดิจิทัล การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 195 หน้า.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2566. การขึ้นทะเบียน การต่ออายุ และการแก้ไขรายการในใบสำคัญการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตราย. 96 หน้า

Abdenaceur, R., Farida, B. T., Mourad, D., Rima, H., Zahia, O. and Fatma, S.H. 2022. Effective biofertilizer *Trichoderma* spp. isolates with enzymatic activity and metabolites enhancing plant growth. International Microbiology 25(4): 817–829.

Agrios, G. 2005. Plant Pathology. 5th ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922 p.

Baiyee, B., Ito, S.I. and Sunpapao, A. 2019. *Trichoderma asperellum* T1 mediated antifungal activity and induced defense response against leaf spot fungi in lettuce (*Lactuca sativa* L.). Physiological and Molecular Plant Pathology 106: 96–101.

Barakat, F. M., Abada, K. A., Abou-Zeid, N. M. and El-Gammal, Y.H.E. 2014. Effect of volatile and non-volatile compounds of *Trichoderma* spp. on *Botrytis fabae* the causative agent of faba bean chocolate spot. American Journal of Life Sciences 2: 11–18.

Bononi, L., Chiaramonte, J.B., Pansa, C.C., Moitinho, M.A. and Melo, I.S. 2020. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improves soybean plant growth. Scientific Reports 10(1): 2858.

Campos-soriano, L., Garcia-Martinez, J. and San Segundo, B. 2012. The arbuscular mycorrhizal symbiosis promotes the systemic induction of regulatory defence-related genes in rice leaves and confers resistance to pathogen infection. Molecular Plant Pathology 13(6): 579–592.

Carbone, I. and Kohn L.M. 1999. A method for design- ing primer sets for speciation studies in filamentous ascomycetes. Mycologia 91: 553–556.

Carillo, P., Woo, S. L., Comite, E., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., Fusco, G. M. and Vinale, F. 2020. Application of *Trichoderma harzianum*, 6-pentyl-α-pyrone and plant biopolymer formulations modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. Plants 9(6): 771.

Chalearmsrimuang, T., Ismail, S.I., Mazlan, N., Suasaard, S. and Dethoup, T. 2019. Marine-derived fungi: a promising source of halo tolerant biological control agents against plant pathogenic fungi. Journal of Pure and Applied Microbiology 13(1): 209–223.

Degani, O. and Gordani, A. 2022. New antifungal compound, 6-pentyl-α-pyrone., against the maize late wilt pathogen. *Magnaporthiopsis maydis*. Agronomy 12(10): 2339.

Dethoup, T., Kaewsalong, N., Songkumorn, P. and Jantasorn, A. 2018. Potential of a marine-derived species, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. Biological Control 119: 1–6.

Druzhinina, I.S., Chenthamara, K., Zhang, J., Atanasova, L., Yang, D., Miao, Y., Rahimi, M.J., Grujic, M., Cai, F., Pourmehdi, S., Salim, K.A. and Pretzer, C. 2018. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. PLoS Genetic 14(4): e1007322.

Du, F.Y., Ju, G.L., Xiao, L., Zhou, Y.M. and Wu, X. 2020. Sesquiterpenes and cyclodepsipeptides from marine-derived fungus *Trichoderma longibrachiatum* and their antagonistic activities against soil-borne pathogens. Marine Drugs 18(3): 165.

Harris, R.F. and Sommers. L.E. 1968. Plate-dilution frequency technique for assay of microbial ecology. Applied Microbiology 16(2): 330-334.

Ferreira, F. V., Herrmann-Andrade, A. M., Calabrese, C. D., Bello, F., Vázquez, D. and Musumeci, M.A. 2020. Effectiveness of *Trichoderma* strains isolated from the rhizosphere of citrus tree to control *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium digitatum* A21 resistant to pyrimethanil in post-harvest oranges (*Citrus sinensis* L. (Osbeck)). Journal of applied microbiology 129(3): 712–727.

Ghorbanpour, M., Omidvari, M.., Abbaszadeh-Dahaji, P., Omidvar, R. and Karima, K. 2018. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases. Biological Control 117: 147–157.

Glass, N.L. and Donaldson, G.C. 1995. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. Applied and Environmental Microbiology 61(4): 1323–1330.

Guo, R., Ji, S., Wang, Z., Zhang, H., Wang, Y. and Liu, Z. 2021. *Trichoderma asperellum* xylanases promote growth and induce resistance in poplar. Microbiological Research 248: 12676.

Keswani, C., Mishra, S., Sarma, B.K., Singh, S.P. and Singh, H.B. 2014. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. Applied Microbiology and Biotechnology 98: 533–544.

Khan, R.A.A., Najeeb, S., Hussain, S., Xie, B. and Li, Y. 2020. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. Microorganisms 8(6): 817.

Klaram, R., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2022. Efficacy of marine antagonist *Trichoderma* spp. as halo-tolerant biofungicide in controlling rice diseases and yield improvement. Biological Control 172: 10498

Kohl, J., Kolnaar, R. and Ravensberg W.J. 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. Frontiers in Plant Science 10: 845.

Larran, S., Siurana, M.P.S., Caselles, J.R., Simón, M.R. and Perelló, A. 2020. *In vitro* antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium sudanense* causing seedling blight and seed rot on wheat. ACS Omega 5 (36): 23276–23283.

Lazazzara, V., Vicelli, B., Bueschl, C., Parich, A., Pertot, I., Schuhmacher, R. and Perazzolli, M. 2021. *Trichoderma* spp. volatile organic compounds protect grapevine plants by activating defense-related processes against downy mildew. Physiologia Plantarum 172(4): 1950–1965.

Li, Y., Shao, J., Fu Y., Chen, Y., Wang, H., Xu, Z. and Zhang, R. 2022. The volatile cedrene from *Trichoderma guizhouense* modulates Arabidopsis root development through auxin transport and signalling. Plant, Cell and Environment 45(3): 969–984.

Li, Z., Yang, X., Yang, B., Yang, J., Tao, C., Zhang, D. and Yamaguchi, Y. 2025. A comprehensive review of methodological and technological advancement in PCR during the last 15 years. Biotechnology Advances 85: 108719.

Liu, Y.J., Whelen, S. and Hall, B.D. 1999. Phylogenetic relationships among ascomycetes: evidence from an RNA polymerse II subunit. Molecular Biology and Evolution 16: 1799–1808.

Martínez, Y., Heeb, M., Kalač, T., Gholam, Z., Schwarze, F.W., Nyström, G. and De France K. 2023. Biopolymerbased emulsions for the stabilization of *Trichoderma*

atrobrunneum conidia for biological control. Applied Microbiology and Biotechnology 107(4): 1465–1476.

Maruyama, C. R., Bilesky-José, N., de Lima, R. and Fraceto, L.F. 2020. Encapsulation of *Trichoderma harzianum* preserves enzymatic activity and enhances the potential for biological control. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8: 225.

Moussa, Z., Alanazi, Y.F., Khateb, A.M., Eldadamony, N.M., Ismail, M.M., Saber, W.I. and Darwish, D.B.E. 2023. Domiciliation of *Trichoderma asperellum* suppresses *Globiosporangium ultimum* and promotes pea growth, ultrastructure, and metabolic features. Microorganisms 11(1): 198.

Nair, A., Kolet, S.P., Thulasiram, H.V. and Bhargava, S. 2015. Systemic jasmonic acid modulation in mycorrhizal tomato plants and its role in induced resistance against Alternaria alternata. Plant Biology 17(3): 625-631.

Qi, Q., Fan, C., Wu, H., Sun, L. and Cao, C. 2023. Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. Microbiology Spectrum 11(3): e05084–22.

Raja, H.A., Miller, A.N., Pearce, C.J. and Oberlies, A. 2017. Fungal identification using molecular tools: a primer for the natural products research community. Journal of Natural products 80: 756–770.

Rajani, P., Rajasekaran, C., Vasanthakumari, M.M., Olsson, S.B., Ravikanth, G. and Shaanker, R.U. 2021. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. Microbiological Research 242: 126595.

Redda, E.T., Ma, J., Mei, J., Li, M., Wu, B. and Jiang, X. 2018. Antagonistic potential of different isolates of *Trichoderma* against *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Botrytis cinerea*. European Journal of Experimental Biology 8(2): 1–8.

Rodríguez-González, Á., Mayo, S., González-López, Ó., Reinoso, B., Gutierrez, S. and Casquero, P.A. 2017. Inhibitory activity of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma* spp. on the insect pests *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrisomelidae: Bruchinae). Environmental Monitoring and Assessment 189(1): 1–8.

Sanchez, A.D., Ousset, M.J. and Sosa, M.C. 2019. Biological control of Phytophthora collar rot of pear using regional *Trichoderma* strains with multiple mechanisms. Biological Control 135: 124-134.

Scharf, D.H., Brakhage, A.A. and Mukherjee, P.K. 2016. Gliotoxine bane or boon? Environmental Microbiology 18: 1096–1109.

Shyamli, S., Prem, D., Rs, T. and Atar, S. 2005. Production and antifungal activity of secondary metabolites of *Trichoderma virens*. Pesticide Research Journal 17: 26–29.

Skidmore, A.M. and Dickinson, C.H. 1976. Colony interactions and hyphal interference between *Septoria Nodorum* and phylloplane fungi. Transactions of the British Mycological Society 66: 57–64.

Siebatcheu, E.C., Wetadieu, D., Youassi, Y.O., Bedine, B.M.A., Bedane, K.G., Tchameni, N. S. and Sameza, M.L. 2023. Secondary metabolites from an endophytic fungus *Trichoderma erinaceum* with antimicrobial activity towards *Pythium ultimum*. Natural Product Research 37(4): 657–662.

Singh, R. K., Jatav, H. S., Lakpale, R., Khan, M., Rajput, V. D. and Minkina, T. 2022. Hydrogel-based *Trichoderma* formulation effects on different varieties of rice under rainfed condition of Indo-Gangetic Plains. Environment Development and Sustainability 24(5): 7035–7056.

Sirikamonsathien, T., Kenji, M. and Dethoup, T. 2023. Potential of endophytic Trichoderma in controlling Phytophthora leaf fall disease in rubber (*Hevea brasiliensis*). Biological Control 179: 105175.

Sridharan, A. P., Sugitha, T., Karthikeyan, G., Nakkeeran, S. and Sivakumar, U. 2021. Metabolites of *Trichoderma longibrachiatum* EF5 inhibits soil borne pathogen *Macrophomina phaseolina* by triggering amino sugar metabolism. Microbial Pathogenesis 150: 104714.

Thambugala, K.M., Daranagama, D.A., Phillips, A.J.L, Kannangara, S.D. and Promputtha, I. 2020. Fungi vs. fungi in biocontrol: an overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology 10: 604923.

Toghueo, R., Eke, P., González, Í., Vazquez de Aldana, B., Nana wakam, L. and Boyom, Fabrice. 2016. Biocontrol and growth enhancement potential of two endophytic *Trichoderma* spp. from *Terminalia catappa* against the causative agent of common bean root rot (*Fusarium solani*). Biological Control 96: 8–20.

Vijitrpanth, A., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2023. Potential and fungicidal compatibility of antagonist endophytic *Trichoderma* spp. from rice leaves in controlling dirty panicle disease in intensive rice farming. BioControl 68(1): 61–73.

Warcaup, J.H. 1950. The soil-plate method for isolation of fungi from soil. Nature 166: 117–118.

Warcup, J.H. 1951. Soil-steaming: a selective method for the isolation of ascomycetes from soil. Transactions of the British Mycological Society 34: 515–518.

Warcup, J.H and Baker, K.F. 1963. Occurrence of dormant ascospores in soil. Nature 197: 1317.

White, T.J, Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, pp. 315–322. In Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J. and White T.J. (ed), PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, San Diego, California.

Woo, S.L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N. and Lorito, M. 2014. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. The Open Mycology Journal 8(1): 71–126.

Yassin, M.T., Mostafa, A.A.F. and Al-Askar, A.A. 2022. *In vitro* antagonistic activity of *Trichoderma* spp. against fungal pathogens causing black point disease of wheat. Journal of Taibah University for Science 16: 57-65.

Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil P. and Lee, J. 2023. Enhanced protection of tomato against Fusarium wilt through biopriming with *Trichoderma harzianum*. Journal of King Saud University-Science 35(2): 102466.

บทที่ 8
เชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* species
(Antagonistic fungi, *Trichoderma* species)

เชื้อรา *Trichoderma* นับเป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่รู้จักกันดีและใช้กันอย่างแพร่หลายในการควบคุมโรคพืชซึ่งเชื้อรา *Trichoderma* สามารถแยกเชื้อและเลี้ยงเพิ่มปริมาณได้ง่าย สามารถเจริญเติบโตและสร้างสปอร์ได้อย่างรวดเร็วภายใน 3-4 วัน โดยได้มีการนำเชื้อรา *Trichoderma* มาพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์จำหน่ายทั่วโลกในหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบหัวเชื้อผงผสมดิน น้ำและผงผสมน้ำ (Thambugala *et al*., 2020; Yassin *et al*., 2021; Brondi *et al*., 2022; Martínez *et al*., 2023) ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงให้ใช้งานได้สะดวก ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคพืช โดยเชื้อรา *Trichoderma* มีลำดับขั้นอนุกรมวิธาน ดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Sordariomycetes
อันดับ Hypocreales
วงศ์ Hypocreaceae
สกุล *Trichoderma*

เชื้อรา *Trichoderma* ส่วนใหญ่สร้างโคโลนีสีเขียวอ่อนจนถึงเข้ม เจริญเติบโตได้เร็วและสร้างสปอร์จำนวนมาก (Suasa-ard *et al*., 2019; Thambugala *et al*., 2020; Locatelli *et al*., 2022; Qi *et al*., 2023) สามารถสร้างกลไกปฏิปักษ์หลายกลไกเพื่อใช้ในการยับยั้งการเจริญและการเข้าทำลายพืชของเชื้อราสาเหตุโรคพืชทั้งสร้างสภาวะของการเป็นปรสิต สร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีความสามารถในการแข่งขันเพื่อแย่งชิงที่อยู่และสารอาหาร รวมทั้งชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน เช่นเชื้อรา *T. harzianum* ที่มีรายงานว่าสามารถสร้างเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไคติเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และโปรติเอส ที่ซึ่งมีฤทธิ์สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชใน

ระหว่างสภาวะของการเป็นปรสิตเจาะเข้าไปในเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืชแล้วดูดสารอาหารจากเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืชนำมาใช้ในการเจริญเติบโต (Baiyee *et al*., 2019; Kohl *et al*., 2019; Thambugala *et al*., 2020; Locatelli *et al*., 2022; Bai *et al*., 2023)

นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรา *T. harzianum* สามารถหลั่งสารที่เป็นทั้งแบบระเหยได้ (volatile) และสารที่ระเหยไม่ได้ (nonvolatile) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านจุลินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้จะยับยั้งการเจริญของเส้นใยและป้องกันการปลดปล่อยสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช รวมทั้งส่งผลทำให้สภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืช รวมทั้งเชื้อรา *T. harzianum* ยังสามารถหลั่งสารในกลุ่มเปปไทด์ (peptide) โปรตีน (protein) และสารโมเลกุลต่ำอื่นๆ ที่จะกระตุ้นกลไกการชักนำความต้านทานและส่งเสริมการเจริญของพืช (Keswani *et al*., 2014; Baiyee *et al*., 2019; Guo *et al*., 2021) โดยเชื้อรา *Trichoderma* แต่ละชนิดและสายพันธุ์ จะแสดงกลไกปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชในพืชเศรษฐกิจแตกต่างกันดังตารางที่ 8.1 แสดงตัวอย่างสายพันธุ์เชื้อรา *Trichoderma* ที่มีรายงานมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืช โดยสร้างกลไกปฏิปักษ์แบบต่างๆ (Sharma *et al*., 2023)

มีรายงานการพบเชื้อรา *Trichoderma* อาศัยได้ในดิน ทะเล ผิวใบ เนื้อเยื่อใบและผิวเมล็ดแต่มีรายงานการพบได้บ่อยที่ดินบริเวณรอบรากพืชโดยทำปฏิสัมพันธ์กับรากพืชช่วยในการป้องกันกำจัดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชในดิน (Kumar *et al*., 2023) โดยมีการรายงานการศึกษาวิจัยเชื้อรา *Trichoderma* และรายงานการสร้างสภาวะของการเป็นปรสิตของเชื้อรา *Trichoderma* ในการยับยั้งการเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และเชื้อราสาเหตุโรคพืช ครั้งแรกช่วงปี ค.ศ. 1930s โดย Weindling (Harman *et al*., 2004) นับจากนั้นมีรายงานประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการเป็นเชื้อราปฏิปักษ์สามารถควบคุมโรคพืชหลายชนิดและมีการพัฒนาเพื่อผลิตเพื่อจำหน่ายในทางการค้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการป้องกันกำจัดโรคพืช ทั้งแบบใช้เดี่ยวๆ และร่วมกับวิธีการอื่นๆ (Collinge *et al*., 2022; Sarrocco, 2023; Woo *et al*., 2023)

ตารางที่ 8.1 ตัวอย่างเชื้อรา *Trichoderma* ที่มีรายงานใช้ในการควบคุมโรคพืชและกลไกปฏิปักษ์ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมโรคพืช

***Trichoderma* spp.**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**	**โรคพืช**	**กลไกปฏิปักษ์**	**เอกสารอ้างอิง**
T. asperelloides และ *T. afroharzianum*	*Erysiphe necator*	ราน้ำค้างขององุ่น	สร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช	Sawant *et al*., 2017
T. longibrachiatum, T. afroharzianum, T. koningiop, T. citrinovi, T. rossicum และ *T. gamsii*	*Fusarium oxysporum, Rhizoctonia Solani* และ *Botrytis cinerea*	เหี่ยว ไหม้และเน่า	มีสภาวะของการเป็นปรสิต	Redda *et al*., 2018
T. viride	*Phytophthora infestans*	ใบไหม้	ชักนำความต้านทานในพืช	Purwantisari *et al*., 2018
T. harzianum, T. longibranchiatum, T. yunnanense และ *T. asperellum*	*Colletotrichum gloeosporioides* และ *Phytophthora capsici*	แอนแทรคโนสของมะเขือเทศ ไหม้และเน่าของพริก	สร้างเอนไซม์เซลลูโลสและไคติเนสย่อยผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช	De la Cruz-Quiroz *et al*., 2018
T. harzianum	*Phytophthora cactorum* และ *Phytophthora* spp.	เน่าของแพร์	มีสภาวะของการเป็นปรสิต	Sanchez *et al*., 2019
T. asperellum	*Corynespora cassiicola* และ *Curvularia aeria*	ใบจุดของผักสลัด	ชักนำความต้านทานในพืช	Baiyee *et al*., 2019
T. longibrachiatum	*Colletotrichum* spp. *Botrytis cinerea* และ *Fusarium oxysporum*	แอนแทรคโนส เน่าสีเทาและเหี่ยว	สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต้านเชื้อราสาเหตุโรคพืช	Du *et al*., 2020

ตารางที่ 8.1 ตัวอย่างเชื้อรา *Trichoderma* ที่มีรายงานใช้ในการควบคุมโรคพืชและกลไกปฏิปักษ์ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมโรคพืช (ต่อ)

***Trichoderma* spp.**	**เชื้อราสาเหตุโรคพืช**	**โรคพืช**	**กลไกปฏิปักษ์**	**เอกสารอ้างอิง**
T. harzianum, T. guizhouense, T. atroviride และ *T. koningiopsis*	*Penicillium digitatum, Alternaria alternata* และ *Colletotrichum gloeosporioides*	ราเขียว ใบจุดและแอนแทรคโนสของส้ม	สร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช	Ferreira *et al*., 2020
T. longibrachiatum, T. harzianum และ *T. pleuroti*	*Sclerotinia sclerotiorum, Agroathelia rolfsii Fusarium Oxysporum* และ *Macrophomina phaseolina*	เน่า ไหม้ เหี่ยว	มีสภาวะของการเป็นปรสิตและสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	Rajani *et al*., 2021
Trichoderma asperellum, T. harzianum และ *T. atroviride*	*Plasmopara viticola*	ราน้ำค้างขององุ่น	สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ระเหยได้	Lazazzara *et al*., 2021
Trichoderma erinaceum	*Pythium ultimum*	รากเน่าโคนเน่า	สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	Siebatcheu *et al*., 2023
T. asperellum, T. harzianum, T. hamatum, T. viride และ *T. longibrachiatum*	*Biopolaris oryzae, Rhizoctonia solani, Fusarium semitectum* และ *Curvularia oryzae*	ใบจุดสีน้ำตาล กาบใบไหม้ ใบไหม้	มีสภาวะของการเป็นปรสิต	Klaram *et al*., 2022

ที่มา: Bai *et al*. (2023)

โดยปัจจุบันมีรายงานว่าเชื้อรา *Trichoderma* มากกว่า 80 สายพันธุ์ ที่มีคุณสมบัติในการควบคุมโรคพืชโดยมีเชื้อรา *T. asperellum*, *T. harzianum*, *T. virens* และ *T. viride* ที่มีรายงานมากที่สุด (Guzmán-Guzmán *et al*., 2025)

8.1 กลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Trichoderma* (Antagonistic activity of *Trichoderma*)

8.1.1 การแข่งขันเพื่อที่อยู่และอาหาร (Competition for Space and Nutrient)

เชื้อรา *Trichoderma* เป็นเชื้อราที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเพื่อแย่งชิงพื้นที่อาศัยและสารอาหาร รวมทั้งแย่งชิงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น พื้นที่ที่มีแสง อากาศ ความชื้นในดิน อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม โดยเฉพาะบริเวณรอบรากที่พืชหลั่งสารอาหารที่เป็นประโยชน์ออกมา (Maurya *et al*., 2017) และแย่งชิงปริมาณธาตุอาหารในดิน เช่น ธาตุเหล็ก (Fe) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในดิน แต่ปริมาณธาตุเหล็กมีปริมาณน้อยขึ้นอยู่ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ส่งผลให้มีการเข้าแย่งชิงพื้นที่ที่มีธาตุเหล็กของเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด

ในบริเวณพื้นที่รอบรากพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* จะสามารถเข้าครอบครองราก ส่งเสริมการกระตุ้นการเจริญเติบโตและป้องกันการเข้าทำลายโดยการชักนำการต้านทานในพืชต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคในดิน นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* สามารถทนทานต่อสารพิษที่พืชหลั่งออกมาต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช โดยเชื้อรา *Trichoderma* จะเกาะที่รากพืชจะหลั่งโปรตีนไฮโดรโฟบิน และเอ็กซ์แพนซิน (expansin) ที่ผนังเซลล์เพื่อใช้ยึดเกาะที่เซลล์รากพืช โดยกระตุ้นการทำงานของ TasHyd1 ซึ่งเป็นยีนไฮโดรโฟบินชนิดหนึ่ง ส่งผลเพิ่มการยึดเกาะกับรากพืช และส่งผลต่อสารที่ปลายเส้นใยเพื่อให้ทนทานต่อสารที่พืชสร้างขึ้นและช่วยให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ตามปกติ (Siebatcheu *et al*., 2023) เชื้อรา *Trichoderma* ยังสามารถหลั่งเอนไซม์ที่ย่อยผนังเซลล์ เช่น เอนไซม์เอนโดโพลีกาแล็กตูโรเนส (endopolygalacturonase) ส่งผลให้เส้นใยของ *Trichoderma* เกาะกับรากพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่ง เมื่อเชื้อสาเหตุ

โรคเข้าทำลายรากพืช พืชจะหลั่งสารซึ่งเป็นพิษเช่น สารประกอบกลุ่มฟีนอลิก เพื่อต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชซึ่งส่งผลต่อเชื้อรา *Trichoderma* ที่เจริญอยู่ใกล้เคียง อย่างไรก็ตามเชื้อรา *Trichoderma* จะมีกลุ่มโปรตีนที่ผนังเซลล์เรียกว่า ATP-binding cassette transporters ซึ่งจะกระตุ้นให้ผนังเซลล์เชื้อรา *Trichoderma* ทนทานต่อสารเหล่านี้ รวมทั้งทนทานต่อสารที่พิษที่จุลินทรีย์ชนิดอื่นสร้างขึ้น (Campos-soriano *et al*., 2012)

8.1.2 สภาวะของการเป็นปรสิต (Mycopasitism)

Trichoderma เป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่สามารถยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้โดยมีสภาวะของการเป็นปรสิตโดยเฉพาะกับเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยสภาวะของการเป็นปรสิตจะแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 สารที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชสร้างขึ้นจะดึงดูดเชื้อรา *Trichoderma* เข้ามาใกล้ ระยะที่ 2 เกิดปฏิสัมพันธ์กระตุ้นให้เชื้อรา *Trichoderma* เข้าทำลาย ระยะที่ 3 เชื้อรา *Trichoderma* จะสร้างเส้นใยพันรอบเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช และระยะที่ 4 เชื้อรา *Trichoderma* จะหลั่งเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์เอ็น-อะเซทิล-กลูโคซามินิเดส (N-acetyl-glucosaminidase) ไคติเนส โปรติเอส กลูคาเนส เบต้า-1,3 และเบต้า-1,6 กลูโคเนส เพื่อย่อยสลายผนังเซลล์เจาะเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Yang, 2017)

8.1.3 การสร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ (Cell Wall Degrading Enzyme)

เชื้อรา *Trichoderma* สามารถสร้างเส้นใยเจาะเข้าผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืชภายใต้สภาวะของการเป็นปรสิต ซึ่งในการเจาะจะมีการสร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ผนังเซลล์ชั้นนอกสุดของเชื้อราจะประกอบด้วยโพลีแซ็กคาไรด์ ที่ประกอบด้วยไคติน กลูแคน ชั้นของโพลีโพลีแซ็กคาไรด์และไกลโคโปรตีน ซึ่งส่วนใหญ่เชื้อรา *Trichoderma* จะสร้างเอนไซม์หลักๆ ได้แก่ไคติเนส กลูคาเนส และโปรติเอส เพื่อย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Xiao *et al*., 2023) จึงมีการพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์เชื้อรา *Trichoderma* โดยการกลายพันธุ์ให้สามารถมีการแสดงออกของ

ยีนที่ผลิตเอนไซม์กลุ่มนี้มากขึ้น เช่น เชื้อรา *T. longibrachiatum* สายพันธุ์ปรับปรุงให้มีการแสดงออกของยีน egl1 เพื่อให้เชื้อรามีการผลิตเอนไซม์เบต้า-1,4 เอนโดกลูคาเนส (ß-1,4 endoglucanase) มากขึ้นซึ่งสามารถย่อยผนังเซลล์ส่วนที่เป็นเซลลูโลสของเชื้อรา *Pythium ultimum* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Guo *et al*., 2021) และการปรับปรุงสายพันธุ์เชื้อรา *T. harzianum* ให้มีการแสดงออกของยีน prb1 ทำให้เชื้อรานี้สามารถสร้างเอนไซม์โปรติเอสมากขึ้นส่งผลลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Rhizoctonia solani* ในฝ้ายอย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุงสายพันธุ์เชื้อรา *T. virens* ให้มีการแสดงออกของยีน tvsp1 ทำให้สร้างเอนไซม์โปรติเอสมากขึ้นส่งผลลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. solani* ในฝ้ายอย่างมีประสิทธิภาพ (Povede *et al*., 2021)

นอกจากนี้เชื้อรา *Trichoderma* ยังสามารถสร้างเอนไซม์ในกลุ่มอื่น ที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพในการย่อยผนังเซลล์ ได้แก่ แอกโซไคติเนส (exochitinase) เอนโดไคติเนส (endochitinase) และ 1,4-เบต้า-อะเซทิลกลูโคซามินิเดส (1,4-ß-acetylglucosaminidase) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในช่วงสภาวะของการเป็นปรสิต โดยเชื้อรา *Trichoderma* จะหลั่งเอนไซม์กลุ่มนี้ร่วมกับเอนไซม์หลักเพื่อย่อยผนังเซลล์ก่อนที่จะเจาะเข้าผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยมีรายงานว่าเชื้อรา *T. virens* ที่มีการตัดต่อยีนให้มีการแสดงออกของยีน Chit42 มากขึ้นจะส่งผลสามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. solani* สาเหตุโรคของต้นกล้าฝ้ายได้ดีกว่าสายพันธุ์ดั้งเดิม (Pantigoso *et al*., 2022) และเชื้อรา *T. harzianum* ที่มีการตัดต่อยีนให้มีการแสดงออกของยีน Chit33 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *R. solani* ได้ดีกว่าสายพันธุ์ดั้งเดิม เป็นต้น (Limon *et al*., 1999)

Trichoderma สามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอสที่สามารถย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีรายงานการพบเอนไซม์นี้ใน *T. harzianum* มากที่สุดรองลงมาได้แก่ *T. reesei*, *T. virens* และ *T. atroviride* (Xiao *et al*., 2023) โดยเอนไซม์โปรติเอส Pra1 ที่สร้างโดย *T. harzianum* จะช่วยให้เส้นใยของ

เชื้อราเกาะกับผนังเซลล์และช่วยย่อยผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช นอกจากนี้เชื้อรา *Trichoderma* ยังสามารสร้างเอนไซม์โปรติเอสที่คล้ายทริปซิน (trypsin-like protease) เช่น เบต้า-กลูโคซิเดส (β-glucosidase) ร่วมกับเอนไซม์กลุ่มไคติเนสในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Antal *et al*., 2000) เชื้อรา *T. harzianum T. guizhouense T. atroviride* และ *T. koningiopsis* จะสร้างเอนไซม์ต่างๆ เพื่อยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *Penicillium digitatum* และ *Colletotrichum gloeosporioides* (Ferreira *et al*., 2020) เอนไซม์ไซลาเนส (xylanase) ที่หลั่งโดยเชื้อรา *T. asperellum* สามารถชักนำให้เกิดความต้านทานในต้น poplar (*Populus* L.) และมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Alternaria alternata*, *Rhizoctonia solani* และ *Fusarium oxysporum* (Guo *et al*., 2021) รวมทั้งมีรายงานการแช่เมล็ดมะเขือเทศในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ ที่ใช้ในการต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส แคตาเลส (catalase) เปอร์ออกไซด์ (peroxide) ฟีนิลอะลานีน แอมโมเนีย ไลเอส (phenylalanine ammonia lyase) และ โพลีฟีนอล ออกไซด์ (polyphenol oxide) (Zehra *et al*., 2023)

8.1.4 การสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Production of Bioactive Compound)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สร้างโดยเชื้อรา *Trichoderma* เพื่อใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีหลายกลุ่ม โดยสารกลุ่มหลักเป็นสารกลุ่มแอลคาลอยด์ (alkaloid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เทอร์พีน (terpene) กรดฟีนอลิก (phenolic acid) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) และกรดเบนโซอิก (benzoic acid) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Thambugala *et al*., 2020; Lazazzara *et al*., 2021; Siebatcheu *et al*., 2023) สารกลุ่มรองได้แก่สารในกลุ่มอัลคีน (alkene) คีโตน (ketone) แอลกอฮลล์ (alcohol) เอสเตอร์ (ester) โมโนเทอร์พีน (monoterpene) และ เซสคิวเทอร์พีน (sesquiterpene) ที่สามารถชักนำให้พืชเจริญเติบโต ช่วยให้พืชลดความเครียดทั้งจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (Khan *et al*., 2020; Lazazzara *et al*., 2021)

สารกลิโอทอกซิน (gliotoxin) เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่ผลิตโดยเชื้อรา *Trichoderma* หลายชนิดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น เชื้อรา *T. virens* สร้างสารกลิโอทอกซินในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. bataticola*, *Macrophomina phaseolina*, *P. debaryanum*, *Agroathelia rolfsii* และ *R. solani* (Shyamli *et al*., 2005; Scharf *et al*., 2016) และยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *F. oxysporum*, *Botrytis fabae* รวมทั้งเชื้อราในดินในแปลงปลูก (Barakat *et al*., 2014) และ *T. longibrachiatum* สร้างสารนี้ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum lagrnarium*, *B.cinerea* และ *F. oxysporum* เป็นต้น (Du *et al*., 2020)

นอกจากนี้เชื้อรา *Trichoderma* จะหลั่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ ไตรโคคาแรน (trichocarane) โคนินจินิน (koninginin) ไตรโคซีติน (trichosetin) ไซโคลนีโรดิออล (cyclonerodiol) ฮาร์เซียโนไลด์ (harzianolide) ไตรโคโคนิน (trichokonin) วิริดีออล (viridiol) และ 6-เพนนิล-2เอช-ไพแรน-2-วัน (6-pentyl-2H-pyran-2-one) ที่มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเจริญและการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชรวมทั้งส่งเสริมการเจริญของพืช (Keswani *et al*., 2014; Bononi *et al*., 2020; Lazazzara *et al*., 2021) และสร้างสารวิริดีไพรอน (viridepyrone) มาสซอยแลคโตน (massoilactone) วิริดิน (viridin) วิริดิโอฟังจิน (viridiofungin) ฮาร์เซียโนไพริโดน (harzianopyridone) อะซาพิโลน (azaphilone) ฮาร์เซียโนไลด์ (harzianolide) ไตรคลอสโตรมาติซิน (trichostromaticin) และกรดฮาร์เซียนิค (harzianic acid) ในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Lombardi *et al*., 2018; Khan *et al*., 2020; Siebatcheu *et al*., 2023)

สารระเหยได้ที่สร้างโดยเชื้อรา *T. asperellum*, *T. harzianum* และ *T. atroviride* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Plasmopara viticola* สาเหตุโรคราน้ำค้างขององุ่น (Lazazzara *et al*., 2021) นอกจากนี้การแช่เมล็ดพืชหรือฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ยังสามารถกระตุ้นกลไกการต้านทานต่อการเข้า

ทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น การฉีดพ่นสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* สามารถชักนำให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* สาเหตุโรคราสนิมของข้าวสาลี (Esmail *et al*., 2023) การฉีดพ่นเชื้อรา *T. phayaoense* สามารถกระตุ้นการเจริญของพืช โดยสามารถเพิ่มความสูงของพืช น้ำหนักแห้งของรากและยอดพืช รวมทั้งทนทานต่อสารเคมีเมทาแลกซิลที่อัตราการใช้ได้ (Bononi *et al*., 2020)

นอกจากนี้เชื้อรา *T. longibrachiatum* สามารถสร้างสารหลายชนิดได้แก่ 1-แพนตานอล (1- pentanol) 1-เฮกซะนอล (1-hexanol) ดีอะลานีน (d-Alanine) และไดเอทิลไตรซัลไฟด์ (diethyl trisulphide) มีฤทธิ์ส่งเสริมการเจริญของพืชและกระตุ้นความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina* สาเหตุโรครากและโคนเน่า ต้นกล้าไหม้ในถั่วเหลือง ถั่วลิสงและข้าวฟ่าง (Sridharan *et al*., 2021) ขณะที่การแช่เมล็ดหอม(*Allium cepa* L.) ก่อนปลูกในสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* สามารถกระตุ้นการเจริญของหอม โดยช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสง เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (Rodríguez-Hernández *et al*., 2017) ตารางที่ 8.2 แสดงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ผลิตโดย *Trichoderma* และประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญและยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช

8.1.5 การชักนำให้พืชต้านทาน (Induce Resistence)

การชักนำให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชจะเกิดจาก 2 กระบวนการ คือ Induced Systemic Resistance (ISR) ซึ่งเป็นการชักนำให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยเชื้อสาเหตุโรคพืช ส่วนเชื้อราในดินที่มีคุณสมบัติกระตุ้นการเจริญเติบโตและชักนำความต้านทานในพืช เช่น *Trichoderma* จะกระตุ้นให้พืชต้านทานผ่านกระบวนการของกรดจัสโมนิก และ เอทิลีน ในกระบวนการ Systemic Acquired Resistance (SAR) คือกลไกป้องกันตัวเองของพืชที่ส่งผลทั่วต้น และสามารถถูกกระตุ้นจากเชื้อสาเหตุโรคที่ใบผ่านกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) พืชจะสร้าง

โปรตีน Pathogenesis-Related protein (PR-protein) ซึ่งเป็นโปรตีนป้องกันตัวเองของพืชที่สร้างขึ้นในปริมาณมากขึ้นเมื่อถูกเชื้อสาเหตุโรคพืชเข้าทำลายหรือเมื่อเชื้อรา *Trichoderma* ส่งสัญญาณโดยการหลั่งสารกระตุ้น (Li *et al*., 2019; Guzmán-Guzmán *et al*., 2025) โปรตีนกลุ่มนี้จะมีเอนไซม์ที่สำคัญที่มีบทบาทในการต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยสามารถทำลายผนังเซลล์เชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น ไคติเนสและกลูคาเนส โดยส่งผลต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคในบริเวณกว้างหรือทั่วทั้งต้น (Nandini *et al*., 2019; Pantigoso *et al*., 2022)

โดยเชื้อรา *Trichoderma* สามารถหลั่งสารที่เป็นสารกระตุ้น (elicitor) หลายชนิดได้แก่เอนไซม์เซลลูเลส ลิโปเปปไทด์ ไฮโดรโฟบิน โพลีเปปไทด์ (polypeptide) เทอร์พีนอยด์ (terpenoid) อนุพันธุ์ฟีโนลิก (phenolic derivative) ไกลโคไซด์ (glycoside) และฟลาโวนอยด์ เพื่อชักนำให้พืชต้านทานได้ทั้งก่อนและหลังจากเชื้อสาเหตุโรคพืชเข้าทำลาย รวมทั้งพืชจะรับรู้ได้ถึงการเข้าทำลายของเชื้อจากสารที่เชื้อสาเหตุโรคพืชสร้างขึ้นเรียกว่า pathogen-associated molecular patterns (PAMPs) เช่น ฟลาเจลลิน (flagellin) หรือไคตินผ่านตัวรับสัญญาณที่อยู่บนผนังเซลล์พืช พืชจะตอบสนองโดยการสร้างผนังเซลล์ที่แข็งแรงขึ้น สร้างสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ หรือปิดปากใบเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Adedayo and Babalola, 2023; Bai *et al*., 2023; Sharma *et al*., 2023)

ตารางที่ 8.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สร้างโดยเชื้อรา *Trichoderma* spp. และการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืช

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	***Trichoderma* spp.**	**การออกฤทธิ์**	**อ้างอิง**
6-เพนทิล-แอลฟา-ไพโรน (6-pentyl-α-pyrone)	*T. harzianum*	ส่งผลต่อเมแทบอลิซึมของพืช และมีผลต่อคุณภาพของผล	Carillo *et al*., 2020
กรดพัลมิติก (palmitic acid) และ อะซีติก แอซิด	*T. viride* และ *T. harzianum*	ยับยั้งการเข้าทำลายของ *Fusarium proliferatum* และ *F. verticillioides*	Yassin *et al*., 2021
ซิติก แอซิด (citric acid)	*T. asperellum*	ยับยั้งการเข้าทำลายของ *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* และเพิ่มการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ	Al-Askar *et al*., 2021
เซดรีน (cedrene)	*T. guizhouense*	ส่งเสริมการเจริญของราก	Li *et al*., 2022
6-เพนทิล-แอลฟา-ไพโรน และ ไซโคลออกตานอล (cyclooctanol)	*T. viride* และ *T. harzianum*	ยับยั้งการเข้าทำลายของ *Alternaria alternata*	Yassin *et al*., 2022
6-เพนทิล-แอลฟา-ไพโรน	*T. asperellum*	ยับยั้งการเข้าทำลายของ *Magnaporthiopsis maydis*	Degani and Gordani, 2022
6-เพนทิล-แอลฟา-ไพโรน กรดฮาร์เซียนิก (harzianic acid) และ ฮาร์เวียโนไลด์ (harzianolide)	*Trichoderma* spp.	ยับยั้งการเข้าทำลายของ *Phakopsora pachyrhizi*	El-Hasan *et al*., 2022
ฟอสฟลาเตส (phosphatase) ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide) อินโดล-3-อะซีติก แอวิด (indole-3-acetic acid) และไซเดอโรฟอร์	*T. harzianum*	ส่งเสริมการเจริญของพืช	Abdenaceur *et al*., 2022

ที่มา: Sharma *et al*. (2023)

ดังนั้นเมื่อเชื้อรา *Trichoderma* เข้าครอบครองพื้นที่รากแล้วจะปลดปล่อยสารกระตุ้นเพื่อชักนำให้พืชต้านทาน ผ่านการกระตุ้นกระบวนการของกรดจัสโมนิก และกรดซาลิไซลิก ในระหว่างที่เกิดปฏิสัมสัมพันธ์จะทำให้พืชเกิดการตื่นตัว (priming) สามารถตอบสนองต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสารกระตุ้นจากเชื้อรา *Trichoderma* นี้จะกระตุ้นการส่งสัญญาณเพื่อกระตุ้นกิจกรรมของกระบวนการ กลไกป้องกันตัวเองของพืชที่ส่งผลทั่วต้น รวมทั้งกระตุ้นการส่งสัญญาณของออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen specie) ให้พืชสร้างเอนไซม์และโปรตีนที่ใช้ป้องกันตนเองเพื่อยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชหรือเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์พืช นำไปสู่การชักนำให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Degani and Gordani, 2022; Flores-Nunez and Stukenbrock, 2024)

นอกจากนี้เชื้อรา *T. hamatum* ยังสามารถชักนำกิจกรรมของเอนไซม์แอมโมเนีย-ไลเอส (ammonia-lyase) โพลีฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ที่เกี่ยวข้องกับกรดซาลิไซลิก ขณะที่เชื้อรา *T. harzianum* และ *T. asperellum* จะปลดปล่อยกรดฮาร์เซียนิก (harzianic acid) และสารที่ระเหยได้กระตุ้นการส่งสัญญาณในกระบวนการกรดจัสโมนิก โดยเพิ่มการแสดงออกของยีน MYB72 และเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ออกซิเจเนส (oxygenase) ในพืช สารกระตุ้นจาก *Trichoderma* จะส่งผลให้พืชตอบสนองอย่างรวดเร็ว เช่นการเคลื่อนย้ายไอออนระหว่างผนังเซลล์ ผลิตออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา และการสร้างแคลโลส (callose) เกาะผนังของซีฟทิวบ์ทำให้ท่อน้ำและท่ออาหารแคบลง ป้องกันไม่ให้เชื้อสาเหตุโรคเคลื่อนที่ผ่านได้ง่าย (Flores-Nunez and Stukenbrock, 2024) จากการที่เชื้อรา *Trichoderma* มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชหลายชนิดจึงได้ศึกษาวิจัยการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคพืชเศรษฐกิจในประเทศไทยดังนี้

8.2 กรณีศึกษาการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการป้องกันกำจัดโรคข้าว (Case study in Controlling Rice Disease by *Trichoderma*)

ข้าว (*Sativa oryzae* L.) นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีพื้นที่ปลูก 61,537,523 ไร่ทั่วประเทศ มีผลผลิต 59,913,148 ตันในรอบปีเพาะปลูก พ.ศ. 2567/68 และมีเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปีจำนวน 4.68 ล้านครัวเรือน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568ก) อย่างไรก็ตามการเพาะปลูกข้าวในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาในการเข้าทำลายของโรคพืชที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา เช่น โรคกาบใบแห้ง โรคไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคเมล็ดด่าง ที่สามารถเข้าทำลายข้าวตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะก่อนและหลังเก็บเกี่ยว เชื้อราสาเหตุโรคข้าวสามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลม ฝน น้ำ นอกจากนี้เชื้อราสาเหตุโรคสามารถติดไปกับเมล็ด ทำให้สามารถเข้าทำลายข้าวอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการปลูกข้าวในพื้นที่เดิมซ้ำๆ การปลูกข้าวหนาแน่น ใส่ปุ๋ยจำนวนมากทำให้การเข้าทำลายของโรครุนแรงขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรเลือกใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าวจำนวนมาก ซึ่งทำให้เพิ่มปัจจัยการผลิต มีผลกระทบต่อสุขภาพต่อผู้ใช้ ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557) ปัจจุบันจึงมีการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวทดแทนการใช้สารเคมี

ได้เริ่มมีการศึกษาวิจัยการใช้ *Trichoderma* ในการควบคุมโรคพืชในประเทศไทย โดย ศาสตราจารย์ ดร. จิระเดช แจ่มสว่าง อาจารย์ประจำภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยมีรายงานประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* และพัฒนาสูตรผงแบบต่างๆ ในการควบคุมโรคผักและข้าวในปี พ.ศ. 2544 (จิระเดช และ คณะ, 2544; จิระเดช, 2546; จิระเดช และ วรรณวิไล, 2550) หลังจากนั้นได้มีการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคพืชอย่างต่อเนื่อง (วาริน และคณะ, 2550; เกศิณี และสมบัติ, 2552; อัฐภรณ์และคณะ, 2558; เสริมวิทย์ และคณะ, 2564) ผู้เขียนและคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* จากแหล่งต่างๆ เช่น ทะเลและใบพืชเพื่อใช้ในการควบคุมโรคข้าว ทดแทนการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา โดยมีผลงานวิจัยดังนี้

8.2.1 โรคกาบใบแห้ง

โรคกาบใบแห้งของข้าวเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. solani* เชื้อราจะเข้าทำลายต้นข้าวที่กาบใบบริเวณเหนือระดับน้ำ ก่อให้เกิดแผลจุดสีน้ำตาลอมเทาที่บริเวณกาบใบเหนือน้ำ ต่อมาแผลจะขยายใหญ่ขึ้นไปตามเส้นใบ ขอบแผลอาจขยายเชื่อมติดกันลามขึ้นไปตามกาบใบทำให้กาบใบข้าวแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งใบ (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557; Singh *et al*., 2019; Senapati *et al*., 2022) เชื้อสามารถเจริญลุกลามจากกาบใบที่เป็นโรคไปยังกาบใบที่อยู่ติดกัน มักพบการเข้าทำลายของโรคในข้าวระยะแตกกอจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยจะพบความรุนแรงของโรคในแปลงข้าวที่มีการปลูกข้าวหนาแน่นมีการแตกกอมาก เชื้อจะสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมที่มีขนาดเล็กสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ลอยไปตามน้ำเพื่อแพร่กระจาย (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557; Mathivanan *et al*., 2005)

ทั้งนี้จากการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* จำนวน 20 ชนิดที่แยกได้จากฟองน้ำและปะการังทะเล นำมาทดสอบการควบคุมโรคกาบใบแห้งของข้าวในสภาพห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการทดสอบบนใบ (detached leaf) โดยทำการทดสอบฉีดพ่นใบข้าวด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^4 และ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรก่อนการปลูกเชื้อด้วยเชื้อรา *R. solani* ที่บริเวณกลางใบ (ภาพที่ 8.1) หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 4 วัน วัดความยาวแผลตามอาการของโรคที่ปรากฏบนใบ

พบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* ที่เข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพลดการเกิดโรคกาบใบแห้งที่เกิดจากเชื้อรา *R. solani* ได้ดีกว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตรและพบว่าใบข้าวที่ฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0077 สามารถลดการเกิดโรคกาบใบแห้งของข้าวได้สูงที่สุดโดยลดเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคได้ที่ 92.05 และ 78.67 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นของสปอร์ 10^6 และ 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 8.3, ภาพที่ 8.1) (Klaram *et al*., 2022; Dethoup *et al*., 2023)



ก ข ค ง จ

ภาพที่ 8.1 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าวเมื่อทดสอบด้วยวิธีการทดสอบบนใบ โดยการฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรก่อนการปลูกเชื้อราสาเหตุโรค *R. solani* ที่กลางใบ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 วัน
ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)
ข. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0077
ค. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0024
ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0042
จ. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0053
ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

รองลงมาได้แก่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0024, KUFA 0042 และ *T. harzianum* KUFA 0053 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคได้ 84-88.55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0022, *T. hamatum* KUFA 0079, *T. viride* KUFA 0059 และ *T. longibrachiatum* KUFA 0097 ลดการเกิดโรคได้ 78.19-81.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 8.3 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าวเมื่อทดสอบด้วยวิธีการทดสอบบนใบ บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 วัน

กรรมวิธี	ความยาวของแผล (เซนติเมตร)		%การลดการเกิดโรค[1/]	
	10^4 สปอร์/มิลลิลิตร	10^6 สปอร์/มิลลิลิตร	10^4 สปอร์/มิลลิลิตร	10^6 สปอร์/มิลลิลิตร
T. asperellum KUFA 0022	6.40±0.28^{b}	3.58±0.26^{bcd}	66.37±3.56^{c}	81.28±6.57^{d}
T. asperellum KUFA 0024	4.25±0.15^{a}	2.30±0.14^{ab}	77.67±6.21^{ab}	87.97±5.91^{b}
T. asperellum KUFA 0042	4.54±0.22^{a}	2.19±0.18^{ab}	76.14±6.09^{b}	88.55±5.70^{b}
T. harzianum KUFA 0053	7.12±0.41^{bc}	3.06±0.29^{abc}	62.59±5.13^{d}	84.00±6.58^{c}
T. harzianum KUFA 0058	9.14±0.57^{d}	5.11±0.25^{d}	51.97±4.50^{f}	73.27±5.13^{e}
T. hamatum KUFA 0077	4.06±0.19^{a}	1.52±0.12^{a}	78.67±6.03^{a}	92.05±6.89^{a}
T. hamatum KUFA 0079	9.25±0.53^{d}	4.25±0.31^{cd}	51.39±3.69^{f}	77.77±6.04^{d}
T. viride KUFA 0059	8.76±0.44^{cd}	4.25±0.27^{cd}	53.97±4.30^{e}	77.77±5.95^{d}
T. viride KUFA 0094	9.10±0.33^{d}	5.03±0.24^{d}	52.18±3.54^{f}	73.69±6.87^{e}
T. longibrachiatum KUFA 0097	8.65±0.47^{cd}	4.17±0.16^{cd}	54.55±4.07^{e}	78.19±6.03^{d}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	19.03±0.89^{e}	19.12±1.05^{e}		

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% การลดการเกิดโรค = $\frac{\text{(ความยาวของแผลในชุดควบคุม- ความยาวของแผลในแต่กรรมวิธี)}}{\text{ความยาวของแผลในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0058 และ *T. viride* KUFA 0094 สามารถลดการเกิดโรคได้ในระดับต่ำที่ 73 และ 51-52 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้น 10^6 และ 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตรตามลำดับ (Klaram *et al*., 2022; Dethoup *et al*., 2023) อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นผลการทดลองในสภาพห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง และสภาพแปลงปลูกเพื่อยืนยันประสิทธิภาพในการควบคุมโรคต่อไป

8.2.2 โรคดอกกระถิน

โรคดอกกระถินหรือโรคราเขม่าเทียมเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Ustilaginoidea virens* สามารถพบอาการของโรคที่เมล็ดข้าวที่เชื้อราเข้าทำลายได้ตั้งแต่ข้าวออกรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เริ่มแรกเมล็ดข้าวจะบวมพองออกกว่าปกติเนื่องจากเชื้อราสาเหตุโรคเจริญอยู่ภายในเมล็ดข้าว เชื้อจะสร้างคลาไมโดสปอร์จำนวนมากภายในเมล็ดข้าวจนดันให้เมล็ดบวมพองขึ้นจนเมล็ดแตกออกมา (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557) โดยเริ่มแรกคลาไมโดสปอร์จะมีสีเขียวอ่อนต่อมาจะเปลี่ยนสีเหลืองอ่อน สีเหลืองแก่ เมื่อแก่เต็มที่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำ (Jiehua *et al*., 2019; Hu *et al*., 2023; Seekham *et al*., 2024a) คลาไมโดสปอร์สามารถติดไปกับเมล็ดหรือแพร่กระจายโดยลม ฝนหรือติดไปกับแมลง (Khanal *et al*., 2023; Seekham *et al*., 2024a)

จากการศึกษาวิจัยได้แยกเชื้อรา *Trichoderma* จำนวน 87 สายพันธุ์จากเมล็ดข้าวพันธุ์กข59 ที่ไม่แสดงอาการของโรคนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญของข้าวและคัดเลือกเชื้อรา *Trichoderma* 6 สายพันธุ์มาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคดอกกระถินในแปลงปลูกข้าว กข59 ที่แปลงปลูก ณ ตำบลพานทอง อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร (Seekham *et al*., 2024a) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราสาเหตุโรคดอกกระถินไม่สามารถสร้างสปอร์ที่เข้าทำลายเมล็ดข้าวเมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อได้ จึงได้ทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคในแปลงปลูกที่เชื้อราเข้าทำลายตามธรรมชาติ

ผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0740 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้งในช่วงออกรวง 1 ครั้งและอีกครั้ง 14 วันหลังจากฉีดพ่นครั้งแรก สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคดอกกระถินได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าว กข59 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายรวงข้าวและเข้าทำลายเมล็ดเพียง 15.33 และ 1.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ที่มีการเข้าทำลายรวงข้าวและเข้าทำลายเมล็ด 33.5 และ 8.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8.4 และภาพที่ 8.2) การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0740 ที่ความเข้มข้น 10^6

สปอร์ต่อมิลลิลิตรนี้สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคดอกกระถินในรวงและเมล็ดได้ 54.24 และ 82.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 8.4 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร 2 ครั้งในการควบคุมโรคดอกกระถินและผลผลิตที่ได้ภายใต้สภาพแปลงปลูกข้าวกข59

กรรมวิธี	% การเข้าทำลาย[1/] รวงข้าว	%การเข้า[2/] ทำลายเมล็ด	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัม/ ไร่)
T. asperellum KUFA 0732	22.67±2.11^{e}	3.25±0.28^{ab}	583.83±45.36^{de}
T. asperellum KUFA 0733	19.50±1.05^{d}	2.53±0.18^{ab}	594.50±48.02^{cd}
T. hamatum KUFA 0735	24.67±1.56^{f}	2.86±0.21^{ab}	567.84±50.12^{e}
T. harzianum KUFA 0740	15.33±1.03^{b}	1.51±0.13^{ab}	621.16±56.67^{b}
T. harzianum KUFA 0741	23.50±1.59^{ef}	3.16±0.24^{ab}	575.84±51.80^{e}
T. harzianum KUFA 0742	17.67±1.25^{c}	2.07±0.14^{ab}	605.16±52.34^{bc}
ไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล 15% + 15%EC	9.25±0.56^{a}	0.52±0.07^{a}	639.82±55.82^{a}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	33.5±2.58^{g}	8.5±0.66^{c}	490.53±40.16^{f}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% การเข้าทำลายรวงข้าว = $\frac{\text{จำนวนรวงข้าวที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนรวงข้าวทั้งหมด}} \times 100$

[2/]% การเข้าทำลายเมล็ด = $\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$

ที่มา: Seekham *et al*. (2024a)

ขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0733 และ *T. harzianum* KUFA 0742 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้ง มีประสิทธิภาพรองลงมา โดยมีเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายรวงข้าวและเข้าทำลายเมล็ด 17.67-19.50 และ 2.07-2.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่การฉีดพ่นไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล 15% + 15%EC มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมโรค



ภาพที่ 8.2 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคดอกกระถินภายใต้สภาพแปลงปลูกข้าว กข59 ณ ตำบลพานทอง อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร โดยการฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้ง เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและการฉีดพ่นสารเคมี
ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)
ข. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0732
ค. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0733
ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0740
จ. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0741
ฉ. ไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล 15% + 15%EC
ที่มา: Seekham *et al*. (2024a)

นอกจากนี้ยังพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0740 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้ง ยังสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวเป็น 621 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ได้ผลผลิตเพียง 490 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0733 และ *T. harzianum* KUFA 0742 ให้ผลผลิตที่ 605 และ 594 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับขณะที่การฉีดพ่นสารเคมีให้ผลผลิตสูงที่สุดที่ 639 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 8.4) (Seekham *et al*., 2024a)

8.3.3 โรคใบจุดสีน้ำตาล

โรคใบจุดสีน้ำตาลเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Bipolaris oryzae* สามารถพบการเข้าทำลายของโรคได้ตั้งแต่ระยะข้าวแตกกอจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยเชื้อจะเข้าทำลายที่ใบ ทำให้เกิดอาการใบจุดสีน้ำตาลขนาดเล็กต่อมาแผลจะขยายเป็นรูปร่างกลมหรือรูปไข่ ขอบแผลมีสีเหลือง อาจพบจุดแผลกระจายทั่วใบ (Dethoup *et al*., 2022) อาการของโรคเริ่มที่ใบล่างก่อนกระจายสู่ใบบน นอกจากนี้เชื้อราสาเหตุโรคยังสามารถเข้าทำลายเมล็ดร่วมกับเชื้อราชนิดอื่นทำให้เป็นโรคเมล็ดด่าง เชื้อราสร้างสปอร์สามารถแพร่กระจายได้โดยลม ฝน แมลงและติดไปกับเมล็ดแพร่กระจายไปยังแหล่งปลูกต่อไป (Manamgoda *et al*., 2014; Seekham *et al*., 2024c)

จากการศึกษาวิจัยได้แยกเชื้อรา *Trichoderma* ทั้งจากฟองน้ำทะเลและจากใบข้าวเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาล (Klaram *et al*., 2022; Vijitrpanth *et al*., 2023) ซึ่งเชื้อรา *Trichoderma* จากทั้งสองแหล่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าว จึงนำเชื้อรา *Trichoderma* จากทั้งสองแหล่งมาทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว โดยทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *Trichoderma* จากทั้งสองแหล่งในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคข้าวพบว่าสารสกัดจากเชื้อรา *Trichoderma* ทุกชนิดที่ทดสอบสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ในขณะที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้ 62.34-68.32 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เมื่อทดสอบโดยวิธีเจือจางภายใต้ห้องปฏิบัติการ

จากผลการทดลองภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองพบว่าเชื้อราแต่ละสายพันธุ์มีศักยภาพในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลที่แตกต่างกันออกไป โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้ง ในระยะแตกกอและเก็บใบข้าวหลังจากการฉีดพ่นครั้งสุดท้าย 10 วัน มาประเมินผลตามวิธีของ Madden *et al*., (2007) พบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราที่แยกจากฟองน้ำทะเล *T. asperellum* KUFA0024 และ*T. harzianum* KUFA 0073 และเชื้อราเอนโดไฟท์จากใบ

ข้าว *T. asperellum* KUFA0402, *T. harzianum* KUFA 0405 และ *T. harzianum* KUFA 0406 มีเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค 11.33-12.26 เปอร์เซ็นต์ และลดการเกิดโรคได้ 53.7-59.55 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8.5) ในขณะที่เชื้อราสายพันธุ์อื่นลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลในได้น้อยกว่า 45.57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการฉีดพ่นสารเคมีโพรพิโคนาโซล 25% EC มีเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดที่ 5.03 เปอร์เซ็นต์และลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลได้สูงสุดที่ 81.15 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8.5)

ตารางที่ 8.5 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

เชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกได้จากฟองน้ำทะเล	**% ความรุนแรง[1/] ของโรค**	**เชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกได้จากใบข้าว**	**% ความรุนแรง[1/] ของโรค**
T. asperellum KUFA 0022	20.19±1.53^{gh}	*T. asperellum* KUFA0401	19.50±1.26^{gh}
T. asperellum KUFA 0024	12.26±1.01^{b}	*T. asperellum* KUFA0402	11.33±0.85^{b}
T. asperellum KUFA 0042	14.34±0.94^{c}	*T. asperellum* KUFA0403	17.56±1.14^{ef}
T. asperellum KUFA 0044	17.02±1.22^{def}	*T. asperellum* KUFA0404	18.69±1.22^{fg}
T. harzianum KUFA 0053	15.58±0.80^{cd}	*T. harzianum* KUFA0405	10.71±0.86^{b}
T. harzianum KUFA 0058	19.52±1.25^{gh}	*T. harzianum* KUFA0406	12.06±0.90^{b}
T. harzianum KUFA 0073	11.45±0.57^{b}	*T. koningiopsis* KUFA0407	21.13±1.57^{h}
T. hamatum KUFA 0077	16.80±1.13^{de}	*T. koningiopsis* KUFA0408	19.82±1.65^{gh}
โพรพิโคนาโซล 25% EC	5.03±0.47^{a}		
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	26.48±2.31^{i}		

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% ความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนใบของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)}}{\text{จำนวนใบทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$

ที่มา: Seekham *et al*. (2024c)

จากนั้นจึงได้คัดเลือกสายพันธุ์เชื้อรา *Trichoderma* ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลในโรงเรือนปลูกพืชทดลองไปทดสอบในแปลงปลูกข้าวกข57 ณ ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี ทั้งนี้ได้พัฒนาชีวภัณฑ์ *Trichoderma* ในรูปแบบผงเชื้อราดังวิธีการในข้อ 8.5 ซึ่งเป็นผงเชื้อราพร้อมใช้ เกษตรกรสามารถใช้ได้ง่าย

และสะดวก โดยทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการฉีดพ่นในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรและในรูปแบบชีวภัณฑ์ผงเชื้อราผสมน้ำที่อัตรา 5 กรัมต่อลิตร จะได้สารละลายผงแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิตร ทำการฉีดพ่น 2 ครั้ง โดยการฉีดพ่นครั้งแรกจะฉีดพ่นเมื่อพบอาการของโรค 5-10 เปอร์เซ็นต์ ในระยะแตกกอและครั้งที่สองจะฉีดพ่นหลังจากการฉีดพ่นครั้งแรก 14 วัน หลังจากการฉีดพ่นครั้งที่สอง 10 วันทำการเก็บใบข้าวมาประเมินความรุนแรงของโรค ตามวิธีการของ Madden *et al*., (2007)

ผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นเชื้อราเอนโดไฟท์ *T. harzianum* KUFA 0406 ที่แยกจากใบข้าวแสดงประสิทธิภาพในการลดการเข้าทำลายของโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ 39.23 และ 29.64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นต้นข้าวด้วยสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำตามลำดับ นอกจากนี้การฉีดพ่นเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0406 ยังสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวกข57 ได้เป็น 651.04 และ 620.14 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำ ตามลำดับ (ตารางที่ 8.6) (Seekham *et al*., 2024c) ขณะที่การฉีดพ่นเชื้อรา *Trichoderma* สายพันธุ์ที่เหลือทั้งรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิตร ส่งผลลดเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคใบจุดสีน้ำตาลได้น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *Trichoderma* ที่ฉีดพ่นในรูปสารแขวนลอยสปอร์จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ดีกว่าในรูปแบบผงเชื้อราผสมน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารแขวนลอยสปอร์มาจากสปอร์ที่เจริญในโคโลนีที่เลี้ยงในข้าว จากนั้นกรองเอาเฉพาะสปอร์มาฉีดพ่นข้าวเลย สปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* จึงยังคงความมีชีวิตและพร้อมเจริญเติบโต ในขณะที่แบบผงเชื้อราผสมน้ำจะมีการนำไปทำให้แห้งเพื่อมาบดให้ผง ซึ่งอาจจะทำให้สปอร์ของเชื้อเข้าสู่ระยะพักตัว จึงต้องการเวลาและสภาวะที่เหมาะสมในการงอกและเจริญเติบโตเพื่อยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืช นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกจากใบข้าวมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลภายใต้สภาพแปลงปลูกได้ดีกว่าสายพันธุ์เชื้อรา *Trichoderma* ที่

แยกจากทะเล ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากเชื้อราสามารถปรับตัวเจริญบนใบและครอบครองพื้นที่ใบได้ดีกว่าสายพันธุ์ที่มาจากฟองน้ำทะเล รวมทั้งการที่เชื้อรา *Trichoderma* สามารถลดความรุนแรงของโรคได้ ได้ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตเนื่องจากสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) (ตารางที่ 8.6)

ตารางที่ 8.6 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการยับยั้งการเข้าทำลายของโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวกข57 และผลผลิตที่ได้ ภายใต้การทดสอบในสภาพแปลงปลูก

กรรมวิธี	**รูปแบบ**	**โรคใบจุดสีน้ำตาล**		**ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)**
		% ความรุนแรง[1/] ของโรค	**% การลดความ[2/] รุนแรงของโรค**	
T. asperellum KUFA 0024	สารแขวนลอยสปอร์	28.39±2.37^{e}	18.00±1.68^{f}	550.21±51.31^{f}
	ผงเชื้อรา	30.08±2.55^{f}	13.11±1.05^{g}	534.47±50.12^{g}
T. harzianum KUFA 0073	สารแขวนลอยสปอร์	26.76±2.14^{de}	22.70±2.03^{de}	591.35±55.67^{e}
	ผงเชื้อรา	27.31±2.38^{de}	21.11±1.84^{e}	554.02±51.28^{f}
T. asperellum KUFA0402	สารแขวนลอยสปอร์	26.37±2.16^{d}	23.83±1.97^{d}	613.96±56.70^{d}
	ผงเชื้อรา	26.58±2.47^{d}	23.22±2.12^{d}	557.31±52.32^{f}
T. harzianum KUFA0405	สารแขวนลอยสปอร์	24.51±2.11^{c}	29.20±2.55^{c}	632.52±58.31^{c}
	ผงเชื้อรา	27.34±2.30^{de}	21.03±1.78^{e}	606.58±58.07^{de}
T. harzianum KUFA0406	สารแขวนลอยสปอร์	21.04±1.59^{b}	39.23±3.54^{b}	651.04±61.24^{b}
	ผงเชื้อรา	24.36±1.87^{c}	29.64±2.68^{c}	620.14±58.63^{cd}
โพรพิโคนาโซล 25% EC		12.55±1.03^{a}	64.30±5.90^{a}	680.67±64.25^{a}
ชุดควบคุม		34.62±2.98^{g}		467.58±43.08^{h}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% ความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนใบของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)}}{\text{จำนวนใบทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$

[2/]% การลดความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{(\% ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม- \% ความรุนแรงของโรคในแต่กรรมวิธี)}}{\text{\% ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: Seekham *et al*. (2024c)

นอกจากนี้ได้ศึกษาความทนทานของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0406 ต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดโรคใบจุดสีน้ำตาลโดยทดสอบด้วยวิธีอาหารพิษ (poison food) โดยเลี้ยงเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0406 ในอาหารเลี้ยงเชื้อรา PDA ที่ผสมสารเคมีตามอัตราการใช้ ได้แก่คาร์เบนดาซิม 1,000 พีพีเอ็ม คาซูกะมัยซิน ไฮโดรคลอไรด์ ไฮเดรต 4,000 พีพีเอ็ม ไตรไซคลาโซล 250 พีพีเอ็ม ไอโซโพรไทโอเลน 1,000 พีพีเอ็ม ไทโอฟลาเนต-เมทิล 750 พีพีเอ็ม แมนโคเซบ 2,000 พีพีเอ็ม โพรพิโคนาโซล 1,250 พีพีเอ็ม และ ทีบูโคนาโซล 750 พีพีเอ็ม พบว่าเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0406 สามารถเจริญเติบโตและสร้างสปอร์ได้ปกติบนอาหาร PDA ที่ผสมคาซูกะมัยซิน ไฮโดรคลอไรด์ ไฮเดรต ไตรไซคลาโซล และแมนโคเซบ ในขณะที่เชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0406 สามารถเจริญบนอาหารที่ผสมไอโซโพรไทโอเลน ได้เพียง 54.21-57.36 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และไม่สามารถเจริญบนอาหารที่ผสมสารเคมีที่ทดสอบที่เหลือ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการควบคุมโรคพืชแบบผสมผสานระหว่างเชื้อรา *Trichoderma* กับสารเคมีที่เชื้อราทนทาน ได้แก่คาซูกะมัยซิน ไฮโดรคลอไรด์ ไฮเดรต ไตรไซคลาโซล และแมนโคเซบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรค อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ควบคุมโรคพืชร่วมกัน ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลองและแปลงปลูกต่อไป

8.2.4 โรคใบไหม้และไหม้คอรวง

โรคใบไหม้และไหม้คอรวงเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* โดยเชื้อสามารถเข้าทำลายต้นข้าวได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ใบกาบใบและคอรวงไหม้ นับเป็นโรคที่มีความสำคัญที่สุดของข้าว สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (Kongcharoen *et al*., 2020; Wang *et al*., 2024) โรคไหม้สามารถระบาดรุนแรงในแปลงข้าวที่มีปลูกข้าวหนาแน่นเนื่องจากอากาศไม่ถ่ายเทในแปลงปลูกหรือมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงทำให้ต้นข้าวอวบขยายใหญ่มีผนังเปราะบางทำให้เชื้อสาเหตุโรคสามารถเข้าทำลายได้ง่าย โดยเชื้อราสาเหตุโรคสามารถแพร่กระจายได้ง่ายโดยลม ฝน และติดไปกับเมล็ด (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวง

เกษตรและสหกรณ์, 2557; Kongcharoen *et al*., 2020; Seekham *et al*., 2024c; Wang *et al*., 2024)

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกจากฟองน้ำทะเลและใบข้าวในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ณ แปลงปลูกตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยการฉีดพ่น 2 ครั้งในระยะออกรวงและหลังจากการฉีดพ่นครั้งแรก 14 วัน เก็บใบและรวงข้าวเพื่อประเมินโรคหลังจากการฉีดพ่นครั้งที่ 2 7 วัน นำมาประเมินความรุนแรงของโรคตามวิธีการของ Dethoup *et al*., (2022) พบว่าการฉีดพ่นเชื้อรา *Trichoderma* ในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้ดีกว่ารูปแบบผงเชื้อราผสมน้ำ โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0405 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมโรค ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ 19.34 และ 15.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสามารถลดการเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ได้ 57.19 และ 60.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ในขณะที่การฉีดพ่นผงเชื้อราผสมน้ำของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0405 ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ที่ 22.02 และ 21.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8.7) ลดการเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ได้ 51.26 และ 46.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการฉีดพ่นสารเคมีไตรไซคลาโซล 75% WP สามารถควบคุมโรคได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้เพียง 14.36 และ 10.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถลดการเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ได้ 68.22 และ 73.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของ *T. harzianum* KUFA 0058, *T. asperellum* KUFA0402, และ *T. harzianum* KUFA0406 สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ได้ 49-53 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8.7, ภาพที่ 8.3-8.4)

ซึ่งการฉีดพ่นเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0405 ยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีผลผลิต 574 และ 554 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อฉีดพ่นในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำ ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ได้ผลผลิต

เพียง 560 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการฉีดพ่นเชื้อรา *Trichoderma* ที่เหลือให้ผลผลิต 534-560 และ 523-550 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อฉีดพ่นในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์และแบบผงเชื้อราผสมน้ำ ตามลำดับ ขณะที่การฉีดพ่นสารเคมีไตรไซคลาโซล 75% WP ให้ผลผลิตสูงสุดที่ 615 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 8.7)

ตารางที่ 8.7 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบไหม้และไหม้คอรวงของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ณ แปลงปลูกตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

กรรมวิธี	รูปแบบ	% ความรุนแรงและการเกิดโรค		ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)
		ใบไหม้ 1/	คอรวงไหม้ 2/	
T. asperellum KUFA 0042	สารแขวนลอยสปอร์	27.59±2.13^{d}	24.14±1.98^{gh}	534.15±51.24^{ef}
	ผงเชื้อรา	31.21±2.56^{e}	27.57±2.04^{i}	523.36±45.08^{f}
T. harzianum KUFA 0058	สารแขวนลอยสปอร์	22.65±1.67^{c}	18.5±1.47^{cd}	552.04±46.37^{cd}
	ผงเชื้อรา	26.7±1.78^{d}	21.24±1.33^{ef}	550.17±46.48^{cde}
T. asperellum KUFA0402	สารแขวนลอยสปอร์	22.31±1.94^{c}	20.08±1.56^{de}	564.39±50.65^{bc}
	ผงเชื้อรา	25.67±1.77^{d}	25.19±2.04^{gh}	543.60±46.51^{de}
T. harzianum KUFA0405	สารแขวนลอยสปอร์	19.34±1.58^{b}	15.67±1.13^{b}	574.31±52.30^{b}
	ผงเชื้อรา	22.02±1.80^{c}	21.08±1.85^{ef}	554.36±51.29^{cd}
T. harzianum KUFA0406	สารแขวนลอยสปอร์	22.72±1.71^{c}	18.36±1.74^{c}	560.78±54.08^{bcd}
	ผงเชื้อรา	26.9±1.46^{d}	22.63±1.84^{fg}	550.29±51.33^{cde}
ไตรไซคลาโซล 75%WP		14.36±1.12^{a}	10.34±0.91^{a}	615.34±58.60^{a}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)		45.18±3.70^{f}	39.52±3.24^{j}	402.16±37.78^{g}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

1/% ความรุนแรงของโรคใบไหม้ = $\frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนใบของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)}}{\text{จำนวนใบทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$

2/% การเกิดโรคคอรวงไหม้ = $\frac{\text{จำนวนรวงข้าวที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนรวงข้าวทั้งหมด}} \times 100$

ที่มา: Seekham *et al*. (2024c)



ภาพที่ 8.3 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้งในการควบคุมโรคไหม้คอรวงของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ณ แปลงปลูกตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

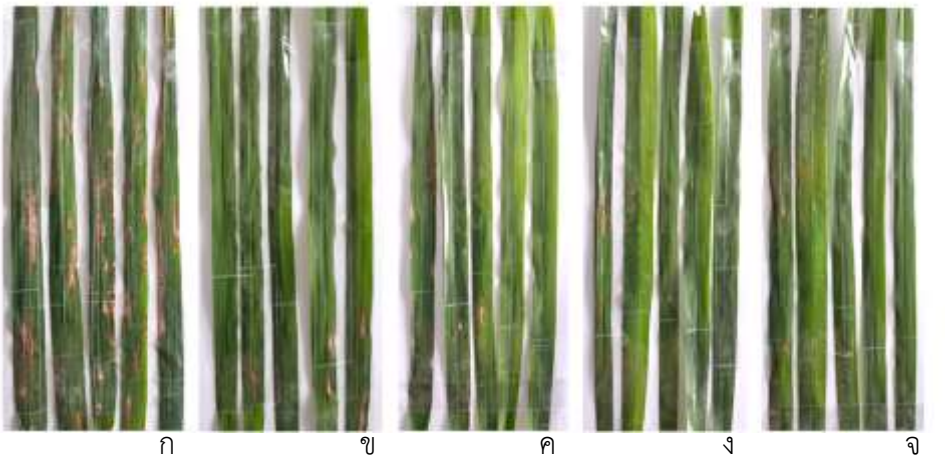
ข. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0073

ค. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA0402

ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA0406

ลูกศรชี้แสดงอาการโรคไหม้คอรวง

ที่มา: Seekham *et al*. (2024c)



ภาพที่ 8.4 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้งในการควบคุมโรคใบไหม้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ณ แปลงปลูกตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0058

ค. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0402

ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0405

จ. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0406

ที่มา: Seekham *et al*. (2024c)

8.2.5 โรคเมล็ดด่าง

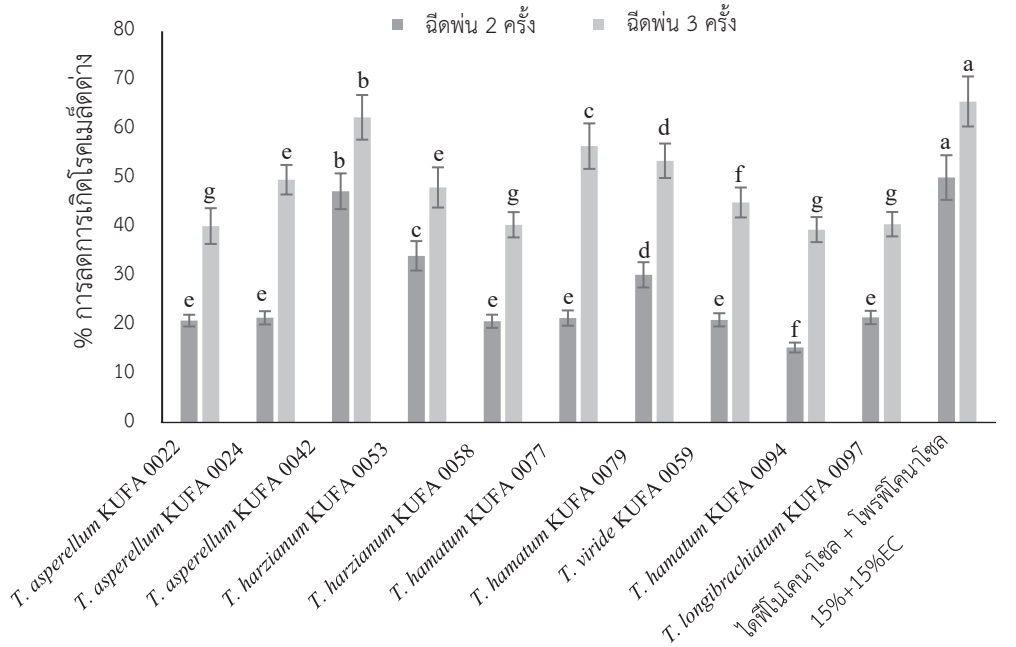
โรคเมล็ดด่างเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราหลายชนิด ได้แก่ *Alternaria padwickii*, *Curvularia lunata*, *Fusarium incarnatum* และ *B. oryzae* เชื้อราสาเหตุโรคสามารถเข้าทำลายได้ทันทีเมื่อรวงข้าวเจริญพ้นกาบหุ้มรวง เมื่อเชื้อเข้าทำลายจะพบจุดสีน้ำตาลขนาดเล็กบนเมล็ดหรือปลายเมล็ดข้าว ต่อมาแผลจุดจะขยายใหญ่ตามการเจริญของเมล็ด แผลอาจลามไปทั่วเมล็ดและลุกลามเข้าทำลายเมล็ดข้าวใกล้เคียงในรวง อาจพบอาการของโรคเพียงไม่กี่เมล็ดหรือทุกเมล็ดบนรวงข้าวขึ้นอยู่กับความรุนแรงของโรคและ

ความอ่อนแอของพันธุ์ข้าว เมล็ดที่เป็นโรคจะลีบแห้งหรือเจริญได้ไม่เต็มที่ มีน้ำหนักน้อยกว่าปกติ (Dethoup *et al*., 2018; Klaram *et al*., 2022) เนื้อเมล็ดข้าวจะมีสีเหลืองอมน้ำตาลอ่อน เมื่อนำไปสีจะแตกหักง่าย อาการจะเด่นชัดขึ้นในระยะใกล้เก็บเกี่ยว เชื้อสาเหตุโรคนี้สามารถแพร่กระจายไปกับลม ฝนและติดไปกับเมล็ด (Dethoup *et al*., 2018; Dethoup *et al*., 2022; Klaram *et al*., 2022)

จากการศึกษาวิจัยได้แยกเชื้อรา *Trichoderma* จากฟองน้ำทะเลรวม 12 สายพันธุ์นำมาทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน พบว่าเชื้อราทะเล *Trichoderma* ที่ทดสอบทุกสายพันธุ์แสดงกลไกยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *F. semitectum* มากที่สุดสามารถยับยั้งการเจริญได้ 82.15-96.09 เปอร์เซ็นต์ และสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. lunata*, *B. oryzae* และ *R. solani* ได้ 74.11-95.78, 59.70-93.11 และ 56.31-75.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่าเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0022 และ *T. harzianum* KUFA 0073 สามารถเจริญคลุมทับเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างได้เร็วที่สุด ขณะที่เชื้อรา *T. longibrachiatum* KUFA 0097 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

จากนั้นได้คัดเลือกเชื้อราทะเล *Trichoderma* 10 สายพันธุ์มาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเมล็ดด่างกับข้าวกข57 ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ทดสอบการฉีดพ่น 2 และ 3 ครั้ง โดยการฉีดพ่น 2 ครั้งจะฉีดพ่นในระยะเริ่มออกรวงและหลังการฉีดพ่นครั้งแรก 14 วันในขณะที่การฉีดพ่น 3 ครั้งจะฉีดพ่นในระยะแตกกอ ระยะเริ่มออกรวงและหลังการฉีดพ่นครั้งแรก 14 วัน เมื่อข้าวอายุ 120 วันเก็บเมล็ดข้าวในแต่ละกรรมวิธีมาประเมินผลโรคเมล็ดด่างตามวิธีของ Dethoup *et al*., (2018) โดยพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* 3 ครั้งมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้ดีกว่าการฉีดพ่น 2 ครั้งโดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0042 สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ดีที่สุด 62.42 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่การฉีดพ่นเชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0077 และ KUFA 0079 สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ดีที่สุด 56.54 และ 53.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อฉีดพ่น 3 ครั้งและลดการเกิดโรคได้ 47.32,

21.42 และ 30.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อฉีดพ่น 2 ครั้ง อย่างไรก็ตามการฉีดพ่นสารเคมีไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล 15%+15% EC สามารถลดการเกิดโรคได้มากที่สุดที่ 50.12 และ 65.66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่น 2 และ 3 ครั้งตามลำดับ (ภาพที่ 8.5)



ภาพที่ 8.5 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 เมื่อฉีดพ่น 2 และ 3 ครั้ง ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง

ค่าเฉลี่ยในกรรมวิธีการฉีดพ่น 2 และ 3 ครั้ง ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.05$ จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

$$\%\text{การลดการเกิดโรคเมล็ดด่าง} = \frac{(\%\text{การเกิดโรคเมล็ดด่างในชุดควบคุม} - \%\text{การเกิดโรคเมล็ดด่างในแต่ละกรรมวิธี})}{\%\text{การเกิดโรคเมล็ดด่างในชุดควบคุม}} \times 100$$

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

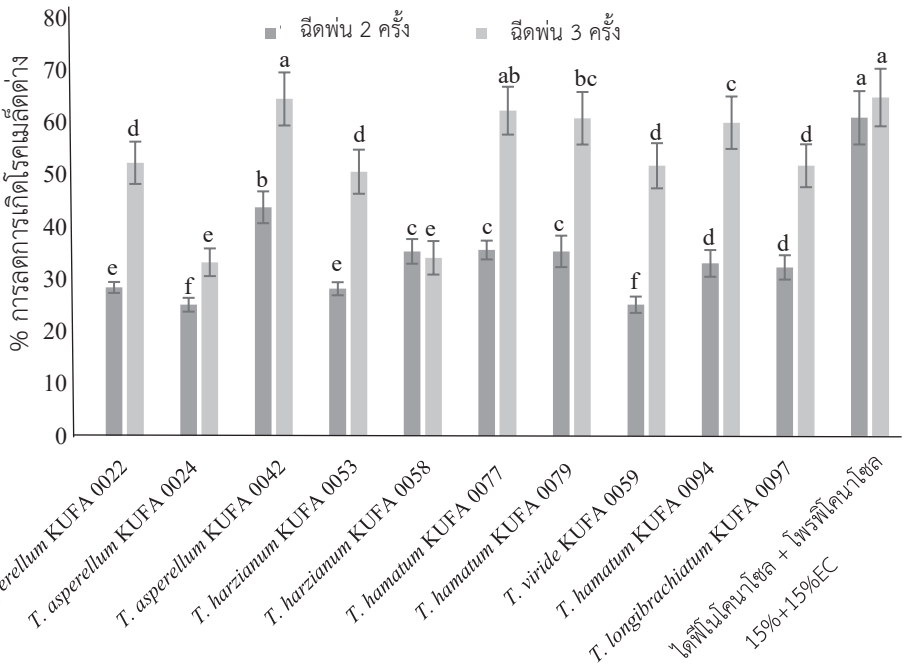
ต่อมาได้ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคเมล็ดด่าง ภายใต้สภาพแปลงปลูกข้าวกข57 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานีโดยได้ดำเนินการทดสอบการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* 10 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรในการควบคุมโรคเมล็ดด่างโดยทดสอบแบบฉีดพ่น 2

ครั้งในระยะออกรวงและหลังจากฉีดครั้งแรก 14 วัน และแบบฉีดพ่น 3 ครั้งในระยะแตกกอ ระยะออกรวงและหลังจากฉีดครั้งที่สอง 14 วัน พบว่าการฉีดพ่น 3 ครั้งมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ดีกว่าการฉีดพ่น 2 ครั้งในสภาพแปลงปลูกในทุกกรรมวิธีที่ทดสอบ

โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0042 สามาถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ดีที่สุดที่ 64.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการฉีดพ่นสารเคมีไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล 15%+15% EC เมื่อฉีดพ่น 3 ครั้ง ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0077, KUFA 0079 และ *T. viride* KUFA 0094 มีประสิทธิภาพในการลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ 62.25, 60.80 และ 59.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0022, *T. harzianum* KUFA 0053, *T. viride* KUFA 0059 และ *T. longibrachiatum* KUFA 0097 สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างอยู่ที่ 50.57-52.28 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0024 และ *T. harzianum* KUFA 0058 มีประสิทธิภาพต่ำในการลดการเกิดโรคเมล็ดด่างแม้ฉีดพ่น 3 ครั้ง (ภาพที่ 8.6) (Klaram *et al*., 2022)

ซึ่งการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* ยังส่งผลเพิ่มผลผลิตของข้าวกข57 โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* รวม 3 ครั้งส่งผลเพิ่มผลผลิตมากกว่าการฉีดพ่น 2 ครั้ง โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0042 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรรวม 3 ครั้ง ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 22.93 เปอร์เซ็นต์ เป็น 553.78 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ชุดควบคุมให้ผลผลิตข้าวเพียง 450.47 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0077 และ *T. harzianum* KUFA 0058 มีผลผลิตเป็น 547.11 และ 531.05 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อฉีดพ่น 3 ครั้ง เพิ่มผลผลิตข้าวได้ 21.45 และ 17.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของ

เชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0022, *T. viride* KUFA 0094 และ KUFA 0059 ให้ผลผลิตข้าว 522.11, 520.16 และ 515.83 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ผลผลิตเพิ่มขึ้น 15.90, 15.47 และ 14.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบเปรียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ เมื่อฉีดพ่น 3 ครั้ง (ตารางที่ 8.8) (Klaram *et al*., 2022)



ภาพที่ 8.6 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 เมื่อฉีดพ่น 2 และ 3 ครั้ง ภายใต้สภาพแปลงปลูก ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

ค่าเฉลี่ยในกรรมวิธีการฉีดพ่น 2 และ 3 ครั้ง ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.05$ จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

$$\%\text{การลดการเกิดโรคเมล็ดด่าง} = \frac{(\%\text{การเกิดโรคเมล็ดด่างในชุดควบคุม} - \%\text{การเกิดโรคเมล็ดด่างในแต่ละกรรมวิธี})}{\%\text{การเกิดโรคเมล็ดด่างในชุดควบคุม}} \times 100$$

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

ตารางที่ 8.8 ผลของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ต่อผลผลิตของข้าวกข57

กรรมวิธี	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่)	
	ฉีดพ่น 2 ครั้ง	ฉีดพ่น 3 ครั้ง
Trichoderma asperellum KUFA 0022	517.32 ± 35.21^{d}	522.11 ± 30.43^{e}
Trichoderma asperellum KUFA 0024	465.78 ± 40.06^{i}	474.71 ± 25.72^{j}
Trichoderma asperellum KUFA 0042	525.12 ± 36.80^{c}	553.78 ± 30.11^{b}
Trichoderma harzianum KUFA 0053	505.44 ± 41.21^{f}	519.04 ± 21.80^{f}
Trichoderma harzianum KUFA 0058	506.53 ± 40.25^{f}	531.05 ± 25.68^{d}
Trichoderma hamatum KUFA 0077	530.76 ± 46.33^{b}	547.11 ± 35.92^{c}
Trichoderma hamatum KUFA 0079	487.29 ± 24.65^{g}	485.78 ± 26.33^{i}
Trichoderma viride KUFA 0059	509.37 ± 36.09^{e}	515.83 ± 15.97^{g}
Trichoderma viride KUFA 0094	505.52 ± 20.69^{f}	520.16 ± 41.35^{f}
Trichoderma longibrachiatum KUFA 0097	485.44 ± 30.25^{h}	489.07 ± 32.07^{h}
ไดฟีโนโคนาโซล + โพรพิโคนาโซล 15%+15% EC	545.65 ± 25.67^{a}	556.36 ± 35.62^{a}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	458.33 ± 29.65^{j}	450.47 ± 20.01^{k}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

รวมทั้งได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดเอทิล อะซีเตตจากเชื้อรา *Trichoderma* ทั้ง 10 ชนิดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างของข้าวภายใต้ห้องปฏิบัติการ พบว่าที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็มของสารสกัดจากเชื้อราทะเล *Trichoderma* ทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *B. oryzae*, *F. semitectum* และ *R. solani* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นสารสกัดของเชื้อรา *T. longibrachiatum* KUFA 0097 ขณะที่สารสกัดของเชื้อรา *Trichoderma* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. lunata* ได้ 56-100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นดังกล่าว (ตารางที่ 8.9) (Klaram *et al*., 2022)

ตารางที่ 8.9 ประสิทธิภาพของสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *Trichoderma* 10 สายพันธุ์ ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคข้าว

สารสกัดของ *Trichoderma*	% การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคข้าว[1/]							
	Bipolaris oryzae		*Curvularia lunata*		*Fusarium semitectum*		*Rhizoctonia solani*	
	5,000 พีพีเอ็ม	10,000 พีพีเอ็ม	5,000 พีพีเอ็ม	10,000 พีพีเอ็ม	5,000 พีพีเอ็ม	10,000 พีพีเอ็ม	5,000 พีพีเอ็ม	10,000 พีพีเอ็ม
T. asperellum KUFA 0022	100^{a}	100^{a}	45.56^{e}	74.07^{e}	12.96^{f}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. asperellum KUFA 0024	92.59^{b}	100^{a}	57.04^{b}	68.89^{f}	94.44^{b}	100^{a}	92.59^{b}	100^{a}
T. asperellum KUFA 0042	100^{a}	100^{a}	71.48^{a}	77.04^{d}	89.26^{c}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. harzianum KUFA 0053	100^{a}	100^{a}	56.67^{b}	74.81^{e}	31.48^{d}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. harzianum KUFA 0058	100^{a}	100^{a}	49.63^{c}	81.48^{c}	100^{a}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. hamatum KUFA 0077	100^{a}	100^{a}	45.19^{e}	100^{a}	6.30^{g}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. hamatum KUFA 0079	100^{a}	100^{a}	42.96^{f}	96.67^{b}	3.33^{h}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. viride KUFA 0059	100^{a}	100^{a}	43.33^{f}	100^{a}	23.33^{e}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T. viride KUFA 0094	100^{a}	100^{a}	52.96^{d}	100^{a}	31.48^{d}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
T.longibrachiatum KUFA 0097	92.59^{b}	100^{a}	21.11^{g}	56.30^{g}	3.33^{h}	92.22^{b}	92.59^{b}	100^{a}

ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.05$ จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]%การยับยั้งการเจริญ = $\frac{\text{(รัศมีโคโลนีของเชื้อราในชุดควบคุม–รัศมีโคโลนีของเชื้อราในชุดทดลองที่ผสมสารสกัด)} \times 100}{\text{รัศมีโคโลนีของเชื้อราในชุดควบคุม}}$

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม สารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *Trichoderma* ทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *B. oryzae* และ *R. solani* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นสารสกัดของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0024 และ *T. longibrachiatum* KUFA 0097 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* และ *R. solani* ได้ 92 เปอร์เซ็นต์ และสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *C. lunata* ได้ในระดับต่ำถึงปานกลาง มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอยู่ที่ 21-71 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8.9) (Chalearmsrimuang *et al*., 2019; Klaram *et al*., 2022) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็มของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0058, *T. asperellum* KUFA 0024 และ KUFA 0042 มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *F. semitectum* ได้ 100, 94 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่สารสกัดของเชื้อรา *Trichoderma* สายพันธุ์อื่นๆ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *F. semitectum* ได้ในระดับต่ำ (Klaram *et al*., 2022) ชี้ให้เห็นว่าเชื้อรา *Trichoderma* สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช

การแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* ยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าและเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอก โดยเมื่อนำเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 15 กรัมมาแช่ในสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* 10 สายพันธุ์ ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร นาน 24 ชั่วโมงแล้วนำมาใส่กล่องพลาสติกขนาดกว้าง 8.5 เซนติเมตร ยาว 8.5 เซนติเมตรและสูง 9.75 เซนติเมตร นาน 14 วัน เมื่อนำมาประเมินความสูงของยอด ความยาวราก และเปอร์เซ็นต์การงอกเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) พบว่าการแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* ส่งผลเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอก ยกเว้นการแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0044 และ *T. harzianum* KUFA 0073 กลับพบว่ายับยั้งเปอร์เซ็นต์การงอกเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 8.10, ภาพที่ 8.7) ขณะที่เมล็ดข้าวที่แช่ในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0079 ส่งผลเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกเป็น 94.12 เปอร์เซ็นต์และการแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0021, KUFA 0024, KUFA 0042, *T. hamatum* KUFA 0077, *T. viride* KUFA 0094 และ *T. longibrachiatum* KUFA 0097 ส่งผลให้มีการงอกเป็น 92-93 เปอร์เซ็นต์

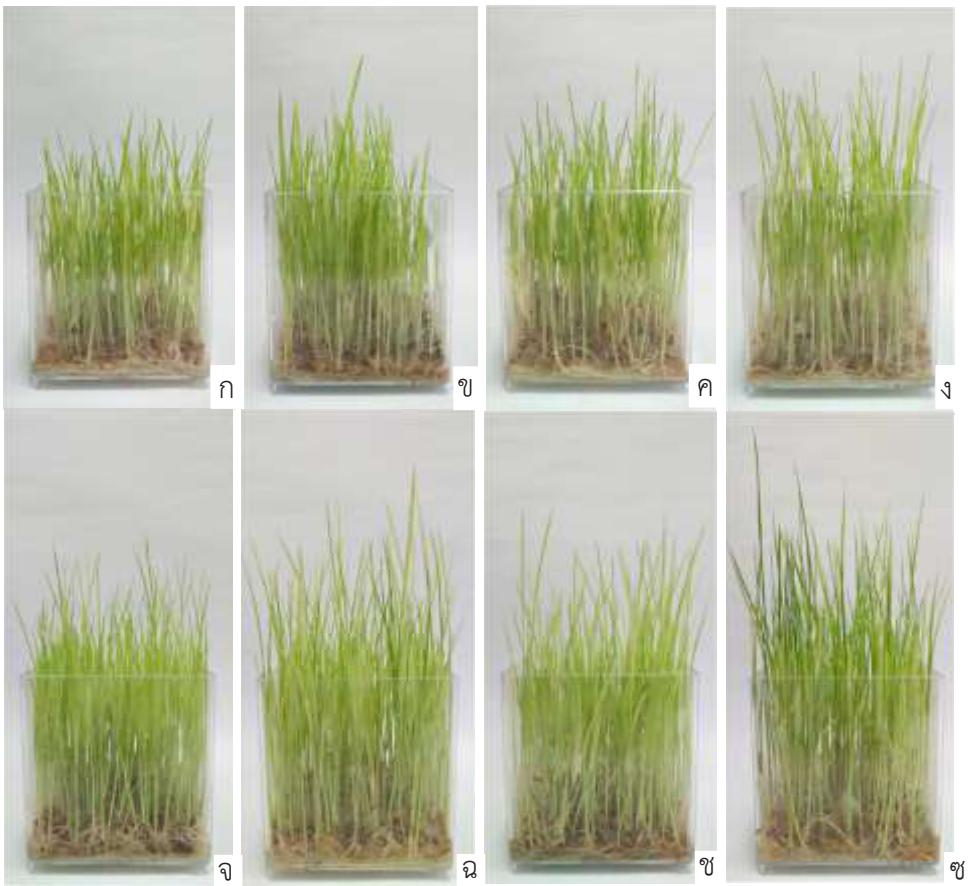
ในขณะที่ชุดควบคุมมีการงอก 90 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมล็ดข้าวที่แช่ในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0053, KUFA 0058 และ *T. viride* KUFA 0059 ไม่ส่งผลเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอก อย่างไรก็ตามการแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* ไม่มีผลต่อความยาวของราก ขณะที่การแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0024, KUFA 0042, *T. harzianum* KUFA 0058, *T. hamatum* KUFA 0077, *T. viride* KUFA 0059 และ KUFA 0094 มีผลต่อความสูงของยอดให้เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุมที่แช่ในน้ำเปล่า (ตารางที่ 8.10, ภาพที่ 8.7)

ตารางที่ 8.10 ผลของการแช่เมล็ดข้าวในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ต่อความสูงของยอด ความยาวรากและเปอร์เซ็นต์การงอก

กรรมวิธี	ความสูงของยอด (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	%การงอก
T. asperellum KUFA 0021	9.65±0.21^{bc}	7.47±0.11^{a}	93.50±4.52^{ab}
T. asperellum KUFA 0024	11.14±0.52^{ab}	7.01±0.18^{a}	92.33±5.11^{abc}
T. asperellum KUFA 0042	11.19±0.64^{ab}	7.25±0.25^{a}	92.05±4.07^{bc}
T. asperellum KUFA 0044	9.01±0.45^{c}	6.64±0.21^{a}	83.67±3.64^{d}
T. harzianum KUFA 0053	10.86±0.89^{abc}	6.65±0.30^{a}	90.50±6.08^{c}
T. harzianum KUFA 0058	11.19±0.91^{ab}	6.75±0.24^{a}	90.67±6.35^{c}
T. harzianum KUFA 0073	9.68±0.42^{bc}	7.15±0.29 ^{a}	85.33±4.50^{d}
T. hamatum KUFA 0077	10.98±0.73^{ab}	7.05±0.33^{a}	92.00±6.74^{bc}
T. hamatum KUFA 0079	12.36±0.68^{a}	7.46±0.37^{a}	94.12±5.58^{a}
T. viride KUFA 0059	11.23±0.71^{ab}	7.85±0.45^{a}	90.50±5.26^{c}
T. viride KUFA 0094	12.39±0.69^{a}	7.75±0.37^{a}	93.33±6.19^{ab}
T. longibrachiatum KUFA 0097	10.51±0.55^{abc}	7.15±0.42^{a}	93.11±5.07^{ab}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	9.52±0.65^{bc}	6.71±0.21^{a}	90.50±6.68^{c}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)



ภาพที่ 8.7 ผลของการแช่เมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร 24 ชั่วโมง ต่อความสูงของยอด ความยาวรากและเปอร์เซ็นต์การงอก เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)
ข. *T. asperellum* KUFA 0022
ค. *T. asperellum* KUFA 0024
ง. *T. asperellum* KUFA 0042
จ. *T. harzianum* KUFA 0058
ฉ. *T. harzianum* KUFA 0073
ช. *T. hamatum* KUFA 0077
ซ. *T. hamatum* KUFA 0079

ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

8.3 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคของยางพารา (Efficacy of *Trichoderma* spp. in Controlling Rubber Disease)

ยางพารานับเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีพื้นที่ปลูก 24,043,535 ไร่ทั่วประเทศ มีผลผลิต 4,810,350 ตันในปี พ.ศ. 2566 และมีเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา จำนวน 1,655,492 ครัวเรือน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568ข) ปัจจุบันยางพาราในประเทศไทยประสบปัญหาในการเข้าทำลายของโรคใบร่วงที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora botryosa* หรือ *P. palmivora* และโรคใบจุดก้างปลาที่เกิดจากเชื้อรา *Corynespora cassiicola* ทำให้ใบหลุดร่วงได้เช่นกัน รวมทั้งส่งผลให้ต้นโทรม น้ำยางพาราลดลง (Sirikamonsathien *et al*., 2023)

อย่างไรก็ตามมีรายงานโรคใบร่วงยางพาราชนิดใหม่ ที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pestalotiopsis* sp. หรือ *Colletotrichum* sp. โดยมีข้อแนะนำในการควบคุมโรคใบร่วงยางพาราทั้งจากการเข้าทำลายของ *Phytophthora* spp., C. *cassiicola*, *Pestalotiopsis* sp. หรือ *Colletotrichum* sp. โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์เพื่อบำรุงต้น เก็บใบยางที่ร่วงหล่นออกจากแปลงหรือใส่โคนต้นด้วยชีวภัณฑ์ *Trichoderma* ในแปลงที่มีการระบาดของโรครุนแรงควรฉีดพ่นต้นด้วยสารเคมีคาร์เบนดาซิมหรือโพรคลอราซ ทุก 10-15 วัน (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565)

8.3.1 โรคใบร่วง (Phytophthora leaf fall)

อาการใบร่วงของยางพาราที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. พบว่าใบจะร่วงทั้งที่มีสีเขียวสด พบรอยช้ำสีดำอยู่ที่บริเวณก้านใบและที่กลางของรอยช้ำมักพบหยดน้ำยางเกาะติดอยู่ นอกจากนี้ยังพบอาการยอดเน่าแล้วลุกลามไปทำลายก้านใบและแผ่นใบทำให้ต้นกล้ายางตาย นอกจากนี้เชื้อรายังสามารถเข้าทำลายฝักทำให้ฝักเน่า

ในส่วนงานวิจัยที่ผ่านมาได้เก็บใบยางพาราที่ไม่เป็นโรคในพื้นที่จังหวัดระยอง นครศรีธรรมราช และกระบี่ นำมาแยกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* รวม 59 สายพันธุ์ และนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อราปฏิปักษ์กับเชื้อรา *Phytophthora palmivora* KUFA 0411 สาเหตุโรคใบร่วงยางพาราโดยวิธีการเลี้ยงคู่กัน พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* 15 สายพันธุ์ สามารถเจริญคลุมทับเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* KUFA

0411 ภายใน 4 วัน (ภาพที่ 8.8) และได้จัดจำแนกเชื้อรา *Trichoderma* 15 สายพันธุ์ เป็น 5 ชนิด ได้แก่ *T. asperellum T. hamatum T. harzianum* ชนิดละ 3 สายพันธุ์ *T. longibrachiatum* 1 สายพันธุ์และ *T. virens* 2 สายพันธุ์



ภาพที่ 8.8 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคใบร่วง *Phytophthora palmivora* KUFA 0411 โดยวิธีเลี้ยงคู่กันบ่มที่ 28±2 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน

ก. *T. harzianum* KUFA0437 (ซ้าย) เลี้ยงคู่กับ *P. palmivora* KUFA 0411 (ขวา)

ข. *T. hamatum* KUFA0439 (ซ้าย) เลี้ยงคู่กับ *P. palmivora* KUFA 0411 (ขวา)

ค. *T. asperellum* KUFA0433 (ซ้าย) เลี้ยงคู่กับ *P. palmivora* KUFA 0411 (ขวา)

ง. *P. palmivora* KUFA 0411

ที่มา: Sirikamonsathien *et al*. (2023)

จากนั้นได้นำเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* ทั้ง 15 สายพันธุ์นี้มาทดสอบการควบคุมโรคใบร่วงกับยางพาราพันธุ์ RRIM 600 โดยทำการทดสอบบนใบภายใต้ห้องปฏิบัติการ โดยเก็บใบยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ที่ไม่อ่อนและไม่แก่เกินไปนำมาล้างน้ำผึ่งไว้ให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ของแต่ละสายพันธุ์ ที่ความเข้มข้นสปอร์ที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และนำมาวางในกล่องพลาสติกแบนขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร และยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 3 ใบต่อกล่องพันก้านด้วยสำลีเปียก และเจาะใบด้วยเข็มเขี่ยเชื้อ 10 ครั้งบริเวณกลางใบทุกใบและวางชิ้นวุ้นที่มีเชื้อรา *P. palmivora* KUFA 0411 เจริญอยู่

บริเวณกลางแผลที่ทำไว้ (ภาพที่ 8.9) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 4 วัน วัดขนาดแผลที่ปรากฏเป็นแผลช้ำน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่จุ่มน้ำเปล่า พบว่าการจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งความรุนแรงของโรค รองลงมาได้แก่ *T. asperellum, T. hamatum, T. virens* และ *T. longibrachiatum* ตามลำดับ โดย *T. harzianum* KUFA 0437 มีประสิทธิภาพลดความรุนแรงของโรคได้ถึง 81 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากประสิทธิภาพของการจุ่มใบยางพาราในสารเมทาแลกซิล 25% WP ขณะที่การจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0436, *T. asperellum* KUFA 0433 และ *T. harzianum* KUFA0438 ลดความรุนแรงของโรคได้ 75, 73 และ 65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนการจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0435, KUFA 0434 และ *T. virens* KUFA 0443 ลดความรุนแรงของโรคได้ปานกลางที่ 51-58 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ที่เหลือลดความรุนแรงของโรคได้น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8.9)

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบร่วงภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองกับยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 2 ปี โดยได้ฉีดพ่นใบของยางพาราทั้งต้นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ของแต่ละชนิดที่ใช้ทดสอบ เปรียบเทียบกับการฉีดพ่นน้ำเปล่าและสารเมทาแลกซิล 25% WP หลังจากฉีดพ่น 1 ชั่วโมง จากนั้นเลือกใบยางพาราที่ไม่แก่ไม่อ่อนบริเวณกลางต้นและทำแผลด้วยการเจาะรูด้วยเข็มเขี่ยเชื้อ แล้ววางชิ้นวุ้นที่มีเชื้อรา *P. palmivora* KUFA 0411 เจริญอยู่บริเวณกลางแผลที่ทำไว้ ปิดทับด้วยแผ่นกาวใสเพื่อป้องกันหลุดออกของชิ้นวุ้น หลังจากนั้น 5 วัน นับจำนวนใบที่ร่วงในแต่กรรมวิธี ผลการทดลองพบว่าในชุดควบคุมที่ฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่า ส่งผลให้ใบร่วงถึง 83.50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0436 และ KUFA 0437 สามารถลดการร่วงของใบได้ 48.47 เปอร์เซ็นต์ และ 43.15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การฉีดพ่นสารเมทาแลกซิล 25% WP ลดการร่วงของใบได้ 66.75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* สายพันธุ์ที่เหลือลดการหลุดร่วงของใบได้น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ (Sirikamonsathien *et al*., 2023)



ภาพที่ 8.9 การทดสอบประสิทธิภาพเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งการเกิดโรคใบร่วงโดยการจุ่มใบยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรและปลูกเชื้อรา *Phytophthora palmivora* KUFA 0411 บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 วัน
ก. การทดสอบบนใบ
ข. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)
ค. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0437
ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0433
ที่มา: Sirikamonsathien *et al.* (2023)

จากนั้นจึงได้คัดเลือกเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0436 และ KUFA 0437 ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคใบร่วงภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง มาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบร่วงที่แปลงปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 8 ปี ที่ตำบลห้วยพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ในปี พ.ศ. 2563-2564 โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยซูโอสปอร์ของเชื้อรา *P. palmivora* KUFA 0411 ที่ต้นยางพาราก่อน 7 วัน จากนั้นฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร หลังจากการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* 7 วัน ต้น

ยางพาราจะถูกคลุมด้วยตาข่ายพลาสติกและคลุมโคนต้นด้วยผ้ายางพลาสติก ใบที่ร่วงหลังจากคลุมตาข่าย 24 ชั่วโมงจะถูกเก็บมานับจำนวนใบร่วงต่อต้น

เนื่องจากปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ. 2564 มีปริมาณสูงกว่าในปี พ.ศ. 2563 ในพื้นที่แปลงทดลองส่งผลให้การเกิดโรคใบร่วงจากการทดลองในปี พ.ศ. 2564 สูงกว่าในปี พ.ศ. 2563 โดยพบว่าการฉีดพ่นสารเมทาแลกซิล 25% WP สามารถลดการเกิดโรคได้สูงที่สุดที่ 66-69 เปอร์เซ็นต์ ในปีที่ทดสอบ 2 ปี ในขณะที่การฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0437 ลดการเกิดโรคใบร่วงได้ 30.44 และ 33.54 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ. 2563 และ 2564 ตามลำดับ และการฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0436 ลดการเกิดโรคใบร่วงเฉลี่ย 21.02 และ 29.55 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2564 ตามลำดับ (ตารางที่ 8.11)

ตารางที่ 8.11 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบร่วงยางพาราภายใต้สภาพแปลงปลูกในช่วงปี พ.ศ. 2563-2564

กรรมวิธี	**จำนวนใบร่วงต่อต้น**		**%การลดใบร่วง**[1/]	
	พ.ศ. 2563	**พ.ศ. 2564**	**พ.ศ. 2563**	**พ.ศ. 2564**
T. harzianum KUFA0436	18.37±1.24[c]	22.08±2.05[b]	21.02±1.69[c]	29.55±2.05[c]
T. harzianum KUFA0437	16.18±1.08[b]	20.83±1.68[b]	30.44±2.16[b]	33.54±2.61[b]
เมทาแลกซิล 25%WP	7.05±0.55[a]	10.57±1.02[a]	69.69±5.32[a]	66.27±5.32[a]
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	23.26±1.93[d]	31.34±2.15[c]		

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% การลดใบร่วง = $\frac{\text{(จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้นในชุดควบคุม- จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้นในแต่กรรมวิธี)}}{\text{จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้นในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: Sirikamonsathien *et al*. (2023)

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* spp. จากใบยางพารามีประสิทธิภาพน้อยในการควบคุม

โรคใบร่วงของยางพาราที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *P. palmivora* โดยสามารถลดการหลุดร่วงของใบได้สูงสุดเพียง 33.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเนื่องมาจากต้นยางพาราสูง 6-8 เมตรทำให้การฉีดพ่นอาจไม่ทั่วถึง โดยการศึกษาครั้งนี้นับเป็นครั้งแรกที่เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของ *Trichoderma* spp. ในการควบคุมโรคใบร่วงโดยการฉีดพ่นโดยตรงในแปลงปลูกในประเทศไทย ในการศึกษาครั้งนี้อาจใช้เป็นแนวทางการศึกษาต่อไปในอนาคตในการปรับปรุงรูปแบบของเชื้อรา *Trichoderma* และการฉีดพ่นให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคให้ดียิ่งขึ้น

8.3.2 โรคใบจุดก้างปลา (Corynespora Leaf Fall)

โรคใบจุดก้างปลานับเป็นโรคสำคัญในยางพาราที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Corynespora cassiicola* โดยเชื้อจะเข้าทำลายที่ระยะใบอ่อนและเพสลาด ในระยะเริ่มแรกจะพบจุดแผลสีน้ำตาลถึงดำ ล้อมรอบด้วยสีเหลือง จากนั้นแผลจะขยายรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อเข้าทำลายที่เส้นใบจะทำให้เส้นใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ายก้างปลาซึ่งเกิดจากการที่เชื้อราสาเหตุโรคพืชหลั่งสารแคสสิโคลิน (cassiicolin) ที่เป็นพิษกับพืช (Oktavia, 2020; Chau *et al*., 2022)

จากการศึกษาวิจัยได้แยกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* จากใบยางพาราที่ไม่เป็นโรคในพื้นที่จังหวัดระยอง ฉะเชิงเทรา หนองคายและสุราษฎร์ธานี สามารถแยกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* ได้ 74 สายพันธุ์นำมาทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์กับเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดก้างปลา *C. cassiicola* KUFA 0766 โดยวิธีเลี้ยงคู่กัน พบว่าเชื้อราเอนโดไฟท์ 15 สายพันธุ์สามารถเจริญคุมทับเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดก้างปลา ได้อย่างรวดเร็วภายใน 3-4 วัน (ภาพที่ 8.10)



ภาพที่ 8.10 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดก้างปลา *C. cassiicola* KUFA 0766 โดยวิธีเลี้ยงคู่กัน บ่มที่ 28±2 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน

ก. *T. harzianum* KUFA 0437 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *C. cassiicola* KUFA 0766 (ซ้าย)

ข. *T. hamatum* KUFA 0439 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *C. cassiicola* KUFA 0766 (ซ้าย)

ค. *T. asperellum* KUFA 0433 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *C. cassiicola* KUFA 0766 (ซ้าย)

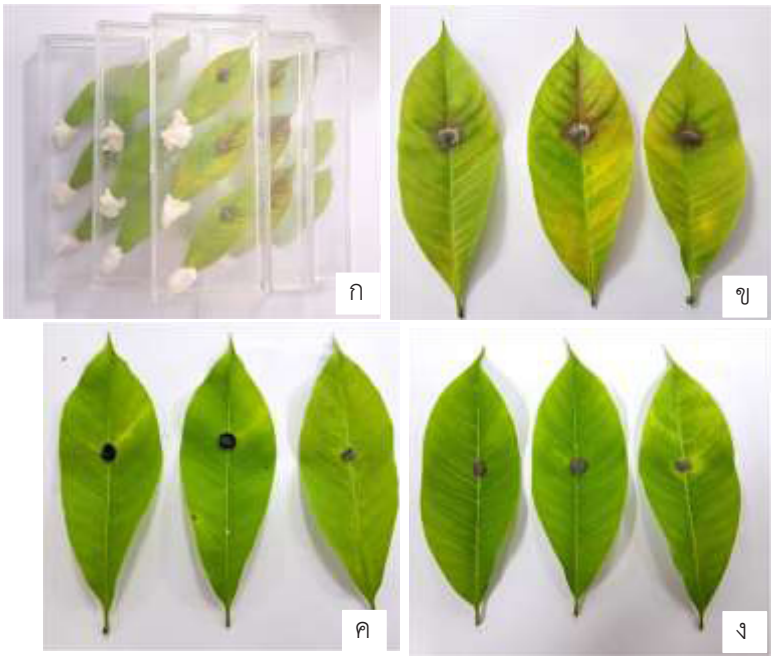
ง. *C. cassiicola* KUFA 0766 (ชุดควบคุม)

ที่มา: Seekham *et al*. (2024b)

จากนั้นจึงได้คัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* จำนวน 15 สายพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็วและเจริญคลุมทับเส้นใยของ *C. cassiicola* ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการทดสอบโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน มาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบจุดก้างปลาบนใบยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในกล่องทดสอบ เช่นเดียวกับการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการควบคุมโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อรา *P. palmivora* โดยนำใบยางพารามาจุ่มในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* แต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นสปอร์ที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำมาวางในกล่องพลาสติกแบนขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร และยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 3 ใบต่อกล่อง พันก้านด้วยสำลีเปียก จากนั้นเจาะใบด้วยเข็มเขี่ยเชื้อ 10 ครั้งบริเวณกลางใบทุกใบ และวางชิ้นวุ้นที่มีเชื้อรา *C. cassiicola* KUFA 0766 เจริญอยู่บริเวณกลางแผลที่ทำไว้ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 4 วัน วัดขนาดแผลที่ปรากฏ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่จุ่มใบในน้ำเปล่า (ภาพที่ 8.11)

ผลการทดสอบบนใบพบว่าการจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0760 และ KUFA 0762 สามารถลดการเกิดโรคได้ 62.81 และ 63.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0754, *T. hamatum* KUFA 0756, KUFA 0758, และ KUFA 0759, *T. harzianum* KUFA 0761 และ *T. viride* KUFA สามารถลดการเกิดโรคได้ 50.18 – 57.19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่จุ่มใบในน้ำเปล่า

จากนั้นจึงได้นำเชื้อรา *Trichoderma* spp. เหล่านี้ไปทดสอบภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองเช่นเดียวกับการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อรา *P. palmivora* กับยางพาราพันธุ์ RRIM 600 (ภาพที่ 8.12) พบว่าการเข้าทำลายของเชื้อรา *C. cassiicola* KUFA0766 ส่งผลให้เกิดอาการใบร่วงได้เช่นเดียวกับโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อรา *P. palmivora* จากผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0760 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่ 49.27 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0754 และ *T. harzianum* KUFA 0762 สามารถลดการเกิดโรคได้ 44.89 และ 45.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราสายพันธุ์อื่นๆ ลดการเกิดโรคได้ 29.25–34.56 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการฉีดพ่นด้วยสารคาร์เบนดาซิม 50% SC ลดการเกิดโรคได้ 68.98 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8.12)



ภาพที่ 8.11 การทดสอบการจุ่มใบยางพาราในสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดก้างปลา *C. cassiicola* KUFA0766 บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ก. การทดสอบบนใบ

ข. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ค. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. hamatum* KUFA 0759

ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0761

ที่มา: Seekham *et al.* (2024b)



ภาพที่ 8.12 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบจุดก้างปลา โดยการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ก่อนการปลูกเชื้อ *C. cassiicola* KUFA 0766 ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

ก. การทดสอบภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

ข. การทดสอบบนใบ

ค. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ง. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0754

ฉ. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0760

จ. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0762

ที่มา: Seekham *et al.* (2024b)

เนื่องจากการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA 0754, *T. harzianum* KUFA 0760 และ KUFA 0762 มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคใบจุดก้างปลาภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองจึงนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบจุดก้างปลาในแปลงปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ที่มีการระบาดของโรคที่ ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ในปี พ.ศ. 2564-2565 อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณน้อยกว่า พ.ศ. 2564 ส่งผลให้ความรุนแรงของโรคในปี พ.ศ. 2565 มีความรุนแรงของโรคน้อยกว่าที่พบในปี พ.ศ. 2564 โดยดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบการควบคุมโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อรา *P. palmivora* ในหัวข้อ 8.5.1 จากผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0762 มีประสิทธิภาพในการลดการหลุดร่วงของใบได้ 40.62 และ 36.39 เปอร์เซ็นต์ในปี พ.ศ. 2564 และ 2565 ตามลำดับ (ตารางที่ 8.12)

ตารางที่ 8.12 ประสิทธิภาพของเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบจุดก้างปลาภายใต้สภาพแปลงปลูก

กรรมวิธี	**จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้น**		**%การลดใบร่วง**[1/]	
	พ.ศ. 2564	**พ.ศ. 2565**	**พ.ศ. 2564**	**พ.ศ. 2565**
T. asperellum KUFA 0754	28.62±2.52^{d}	25.90±2.06^{d}	21.14±2.05^{d}	12.41±1.08^{d}
T. harzianum KUFA 0760	26.48±2.46^{c}	21.57±1.95^{c}	27.03±2.23^{c}	27.05±2.55^{c}
T. harzianum KUFA 0762	21.55±1.96^{b}	18.81±1.77^{b}	40.62±3.56^{b}	36.39±3.34^{b}
คาร์เบนดาซิม 50% SC	15.25±1.55^{a}	12.09±1.05^{a}	57.98±5.28^{a}	59.11±5.50^{a}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	36.29±3.25^{e}	29.57±2.67^{e}		

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% การลดใบร่วง = $\frac{\text{(จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้นในชุดควบคุม- จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้นในแต่กรรมวิธี)}}{\text{จำนวนใบร่วงเฉลี่ยต่อต้นในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: Seekham *et al*. (2024b)

รองลงมาได้แก่กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0760 สามารถลดการหลุดร่วงของใบได้ 27.03 เปอร์เซ็นต์ ใน 2 ปีที่ทดสอบ ในขณะที่ *T. asperellum* KUFA 0754 ลดการหลุดร่วงของใบได้สูงสุดเพียง

21.14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการฉีดพ่นด้วยสารคาร์เบนดาร์ซิมพบว่าลดการหลุดร่วงของใบได้สูงสุด 57.98–59.11 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบ 2 ปี (ตารางที่ 8.12)

8.4 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพด (Efficacy of *Trichoderma* spp. in Controlling Leaf Blight of Corn)

โรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Exserohilum turcicum* เชื้อราสามารถเข้าทำลายในทุกระยะการเจริญของข้าวโพด โดยเริ่มแรกจะพบแผลขนาดเล็กสีเหลืองอ่อนกระจายบนใบต่อมาแผลจะขยายใหญ่ กลางแผลจะแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แผลสามารถเชื่อมติดกันทำให้ใบไหม้ทั้งใบ เนื่องจากพื้นที่ใบถูกทำลายจึงส่งผลให้ฝักไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก การป้องกันกำจัดควรหลีกเลี่ยงการปลูกข้าวโพดพันธุ์อ่อนแอ ถ้าพบการระบาดรุนแรงควรฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดเชื้อรา

จากการศึกษาวิจัย ได้แยกเชื้อราเอนโดไฟท์จากใบข้าวโพดที่ไม่พบการเข้าทำลายของโรค ที่เก็บจากพื้นที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมา ราชบุรี และ บุรีรัมย์ สามารถแยกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* 73 สายพันธุ์ นำมาทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์กับเชื้อราสาเหตุโรค *Exserohilum turcicum* KUFA 0716 โดยวิธีเลี้ยงคู่กัน คัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟท์ 15 สายพันธุ์ ที่สามารถเจริญคุมทับเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 8.13) มาจัดจำแนกชนิดและทดสอบการควบคุมโรคในโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

โดยได้จัดจำแนกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* 15 สายพันธุ์ที่สามารถเจริญคุมทับเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชอย่างรวดเร็ว เป็น *T. asperellum* 5 สายพันธุ์ *T. hamatum* 4 สายพันธุ์ *T. harzianum* 4 สายพันธุ์ และ *T. virens* 2 สายพันธุ์ และนำมาทดสอบในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่กับข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 59 (Hi-Brix 59) ต่อในสภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง โดยทำการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร 2 ครั้งโดยฉีดพ่นครั้งแรกเมื่อข้าวโพดอายุ 30 วันและครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดอายุ 45 วัน เมื่อข้าวโพดอายุ 60 วันจะเก็บใบข้าวโพดมาประเมินตามวิธีการของ Price *et al*., (2016)



ภาพที่ 8.13 ประสิทธิภาพของเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพด *Exserohilum turcicum* KUFA 0716 โดยวิธีเลี้ยงคู่กัน บ่มที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน

ก. *T. asperellum* KUFA 0702 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *E. turcicum* KUFA 0716 (ซ้าย)

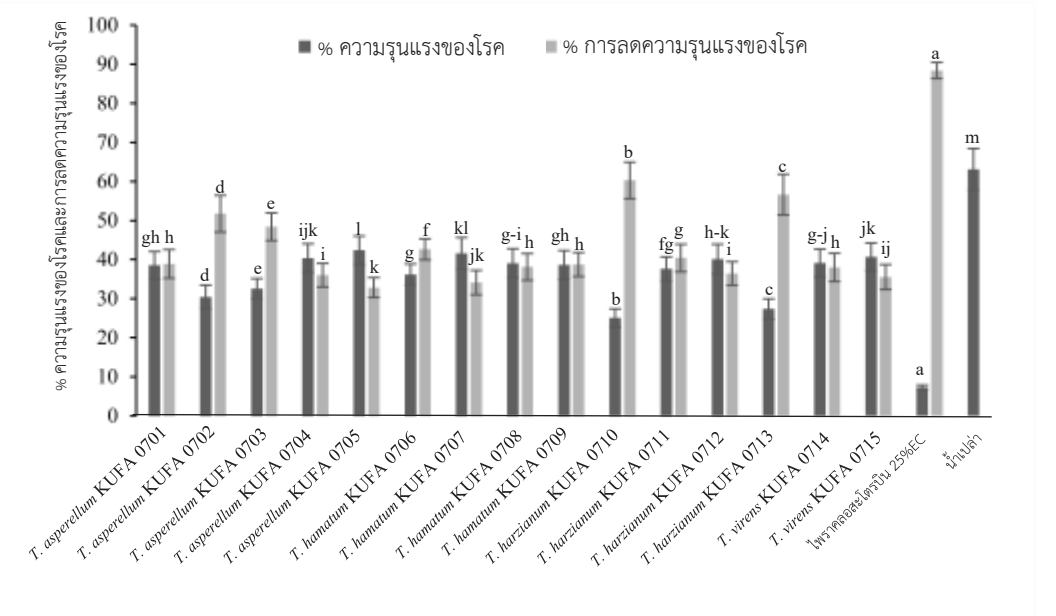
ข. *T. asperellum* KUFA 0703 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *E. turcicum* KUFA 0716 (ซ้าย)

ค. *T. harzianum* KUFA 0713 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *E. turcicum* KUFA 0716 (ซ้าย)

ง. *E. turcicum* KUFA 0716

ที่มา: Limdolthamand *et al*. (2023)

จากการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร 2 ครั้งของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0710, KUFA 0713 และ *T. asperellum* KUFA 0702 สามารถลดความรุนแรงของโรคได้ 60.26, 56.65 และ 51.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8.14) ขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* KUFA0703, *T. hamatum* KUFA0706 และ *T. harzianum* KUFA0711 ลดความรุนแรงของโรคได้ 40.57–48.93 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์เชื้อราที่เหลือลดความรุนแรงของโรคได้น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นสารไพราคลอสโตรบิน 25% EC ลดความรุนแรงของโรคได้ 88.40 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 8.14 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ที่เกิดจากเชื้อรา *Exserohilum turcicum* ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันใน % ความรุนแรงของโรคและ % การลดความรุนแรงของโรค แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

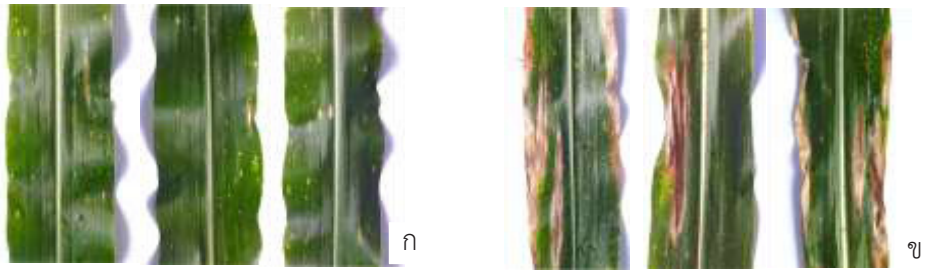
$$\%\ \text{ความรุนแรงของโรค} = \frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนใบของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)} \times 100}{\text{จำนวนใบทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}}$$

$$\%\ \text{การลดความรุนแรงของโรค} = \frac{(\%\ \text{ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม} - \%\ \text{ความรุนแรงของโรคในแต่กรรมวิธี}) \times 100}{\%\ \text{ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม}}$$

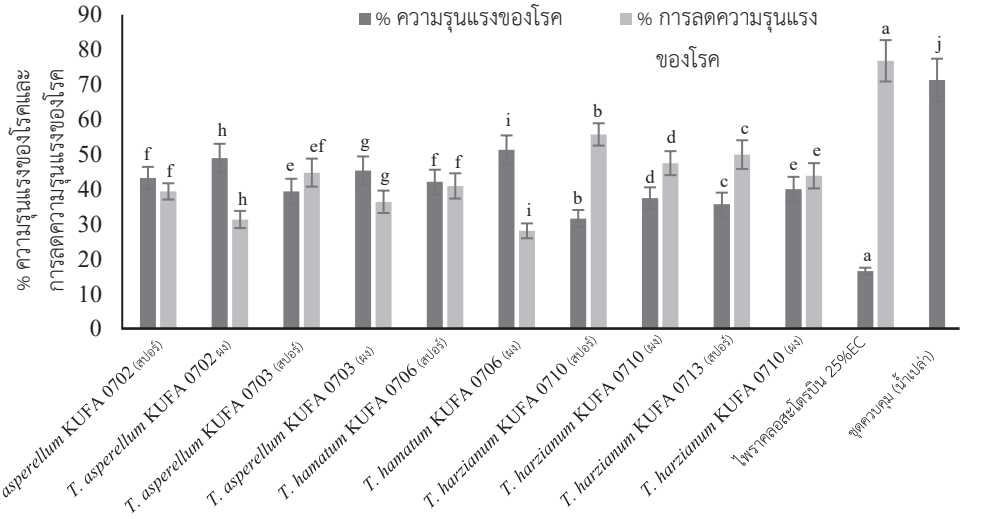
ที่มา: Limdolthamand *et al*. (2023)

จากนั้นได้นำเชื้อรา *T. asperellum* KUFA0702, KUFA0703, *T. hamatum* KUFA0706, *T. harzianum* KUFA0710 และ *T. harzianum* KUFA0713 ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองมาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่กับข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 59 ภายใต้สภาพแปลงปลูกที่ตำบลโนนสุวรรณ อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยทดสอบในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรและผงเชื้อรา 5 กรัมต่อลิตร เมื่อผสมน้ำจะมีความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร โดยการฉีดพ่น 2 ครั้งเช่นเดียวกับการทดลองภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง พบว่าการฉีดพ่นสารไพราโคลสโตรบิน 25% EC มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดความรุนแรงของโรคใบไหม้แผลใหญ่ได้ 76.79 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0710 ลดความรุนแรงของโรคใบไหม้แผลใหญ่ได้ 55.83 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นผงเชื้อราผสมน้ำ *T. harzianum* KUFA 0710 ลดความรุนแรงของโรคใบไหม้แผลใหญ่ได้ 55.75 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8.15) รองลงมาได้แก่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0713 สามารถลดความรุนแรงของโรคได้ 49.68 และ 43.73 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำ ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นเชื้อรา *Trichoderma* ที่เหลือมีประสิทธิภาพลดความรุนแรงของโรคได้ 36.42-44.83 เปอร์เซ็นต์ และ 28.51-39.08 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำ ตามลำดับ (ภาพที่ 8.16)



ภาพที่ 8.15 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* KUFA0710 ในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดภายใต้สภาพแปลงปลูก (ก) และชุดควบคุม (น้ำเปล่า) (ข)
ที่มา: Limdolthamand *et al*. (2023)



ภาพที่ 8.16 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นเชื้อรา *Trichoderma* ในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์ (สปอร์) และผงเชื้อราผสมน้ำ (ผง) ในการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดภายใต้สภาพแปลงปลูก ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันใน % ความรุนแรงของโรคและ % การลดความรุนแรงของโรค แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

$$\%\ \text{ความรุนแรงของโรค} = \frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนใบของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)}}{\text{จำนวนใบทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$$

$$\%\ \text{การลดความรุนแรงของโรค} = \frac{(\%\ \text{ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม} - \%\ \text{ความรุนแรงของโรคในแต่กรรมวิธี})}{\%\ \text{ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม}} \times 100$$

ที่มา: Limdolthamand *et al*. (2023)

นอกจากนี้การฉีดพ่นเชื้อรา *Trichoderma* ทั้งในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์และผงเชื้อราผสมน้ำ รวมทั้งสารเคมียังสามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) พบว่าการฉีดพ่นสารไพราโคลสโตรบิน 25% EC นอกจากจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมโรคแล้วยังเพิ่มผลผลิตได้เป็น 413 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเพิ่มผลผลิตได้ 61 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ที่ได้ผลผลิต 255 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* KUFA0710 และ KUFA0713 ได้ผลผลิต 354 และ 327 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเพิ่มผลผลิตได้ 38 เปอร์เซ็นต์ และ 27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 22 เปอร์เซ็นต์ และ 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นในสูตรผงเชื้อราผสมน้ำ (ตารางที่ 8.13)

ตารางที่ 8.13 ผลของการฉีดพ่น *Trichoderma* ต่อผลผลิตข้าวโพดพันธุ์ไฮ-บริกซ์ 59

กรรมวิธี	**รูปแบบ**	**ผลผลิตข้าวโพด (กิโลกรัมต่อไร่)**
T. asperellum KUFA 0702	สารแขวนลอยสปอร์	293.69±21.47^{e}
	ผงผสมน้ำ	282.00±24.54^{f}
T. asperellum KUFA 0703	สารแขวนลอยสปอร์	308.89±27.92^{d}
	ผงผสมน้ำ	285.30±24.22^{f}
T. hamatum KUFA 0706	สารแขวนลอยสปอร์	295.12±25.52^{e}
	ผงผสมน้ำ	266.87±21.43^{g}
T. harzianum KUFA 0710	สารแขวนลอยสปอร์	354.11±32.13^{b}
	ผงผสมน้ำ	313.02±28.38^{d}
T. harzianum KUFA 0713	สารแขวนลอยสปอร์	327.45±29.00^{c}
	ผงผสมน้ำ	299.24±24.48^{e}
ไพราคลอสโตรบิน 25% EC		413.30±32.83^{a}
ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)		255.91±21.03^{h}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

ที่มา: Limdolthamand *et al*. (2023)

8.5 การพัฒนารูปแบบชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Trichoderma* (Development of *Trichoderma* Formulation)

จากการศึกษาวิจัยได้พัฒนารูปแบบผงเชื้อราพร้อมใช้ของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคข้าวและข้าวโพด โดยดัดแปลงจากการเลี้ยงเชื้อราในข้าวโดย จิระเดช และวรรณวิไล (2550) วิธีการนี้เหมาะสำหรับวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการที่มีตู้เครื่องเชื้อ เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ เครื่องมือในการเตรียมอาหาร PDA และเครื่องมือต่างๆ รวมทั้งสถานที่ที่สะอาด โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

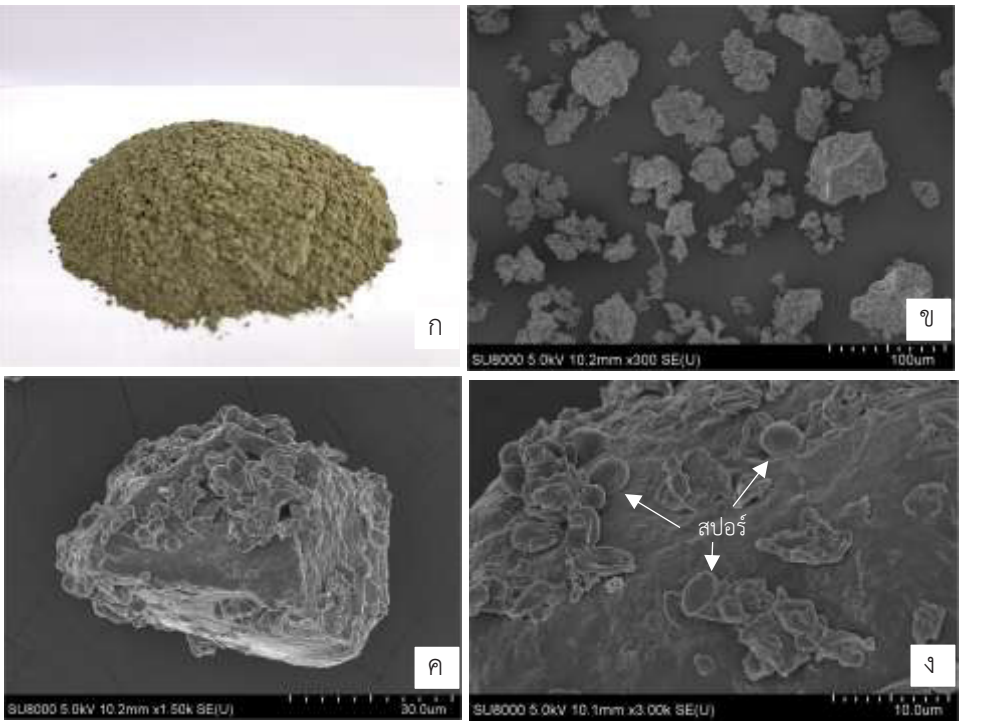
1. เลี้ยงเชื้อรา *Trichoderma* ที่ต้องการในจานเลี้ยงเชื้อที่มีอาหาร PDA บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 4-5 วัน
2. หุงข้าวขาวในหม้อหุงข้าวให้มีระดับความสุกปานกลาง
3. ตักข้าว 200 กรัม ใส่ถุงพลาสติกใส ขนาด 8×12 เซนติเมตรหรือถุงขนาดอื่นๆ ขณะที่ยังร้อนให้มีปริมาณ 1 ใน 3 ของถุง ทิ้งไว้ให้ข้าวเย็นลงที่อุ่นพอที่มือจะจับได้
4. เทน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วใส่จานเลี้ยงเชื้อที่มีเชื้อรา *Trichoderma* เจริญอยู่ประมาณ 20-30 มิลลิลิตร ใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ขูดสปอร์ให้หลุดออกจากเส้นใย
5. ใช้ไมโครปิเปต (micropipet) ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดสารแขวนลอยสปอร์ใส่ในถุงข้าว 2 มิลลิลิตร เขย่าข้าวให้สารแขวนลอยสปอร์กระจายทั่วกัน
6. จากนั้นรัดด้วยหนังยาง 1 รอบ ไม่ต้องเจาะถุง วางในที่ร่ม สะอาดและมีแสง บ่มไว้ประมาณ 7 วันเชื้อราจะเจริญเต็มถุง (ในช่วงนี้สามารถนำเชื้อไปใช้ในการทดสอบหรือนำไปควบคุมโรคพืชได้ในรูปแบบเชื้อสดหรือใช้สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อ โดยนำถุงข้าวที่มีเชื้อเจริญอยู่มาใส่ภาชนะแล้วใส่น้ำสะอาดอัตรา 1 ถุงต่อน้ำ 1 ลิตรคนให้เมล็ดข้าวกระจายตัว จากนั้นกรองผ่านผ้าข้าวบางเพื่อกรองเข้าเมล็ดข้าวออก และปรับความเข้มข้นของสารแขวนลอยสปอร์ด้วย haematocytometer ให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ)
7. นำเมล็ดข้าวออกจากถุงใส่ภาชนะที่สะอาด ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและสะอาดนาน 5-7 วัน จากนั้นนำมาปั่นให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง จะได้ผงเชื้อรา *Trichoderma* ซึ่งมีอัตราการใช้ประมาณ 5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร โดยจะมีสปอร์ของเชื้อราอยู่ที่ 10^6-10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้ขึ้นกับสายพันธุ์เชื้อที่นำมาผลิต (ภาพที่ 8.17)



ภาพที่ 8.17 การผลิตผงชีวภัณฑ์ *Trichoderma* แบบผงเชื้อราพร้อมใช้

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ผงเชื้อรา *Trichoderma* แบบพร้อมใช้ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเขียวเข้ม เมื่อนำผงเชื้อรา *Trichoderma* มาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราดจะพบสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* เกาะอยู่ที่ผิวของผงข้าว ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวพาและสารอาหารให้กับสปอร์ (ภาพที่ 8.18)



ภาพที่ 8.18 ลักษณะของผงเชื้อรา *Trichoderma harzianum* KUFA 0402 เมื่อมองด้วยตาเปล่าและภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ก. ลักษณะของผงเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0402 เมื่อมองด้วยตาเปล่า
ข.-ง. ลักษณะของผงเชื้อรา *T. harzianum* KUFA 0402 เมื่อตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะพบสปอร์ของเชื้อราบนผงข้าว (ลูกศรสีขาว)
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

จากการศึกษาวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคข้าวที่สำคัญได้แก่โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตาลและโรคเมล็ดด่าง รวมทั้งโรคของยางพาราและข้าวโพดพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* แต่ละชนิดและสายพันธุ์มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยพบว่า *T. asperellum* และ *T. harzianum* มีประสิทธิภาพที่โดดเด่นกว่าชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเนื่องจากเชื้อรา *Trichoderma* สร้างสปอร์ผนังบางทำให้ไม่สามารถทนความร้อนจากแสงแดดได้ จึงต้องมีการพัฒนารูปแบบชีวภัณฑ์ที่มีการใส่สารเสริมประสิทธิภาพ ที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพและการคงอยู่บนใบพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชต่อ ซึ่งการศึกษาการคงอยู่ของเชื้อรา *Trichoderma* ที่ผิวใบและบนส่วนต่างๆ ของพืชยังมีการรายงานจำนวนน้อย ซึ่งรายงานการศึกษาวิจัยในบทนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคของข้าว ยางพารา ข้าวโพด หรือนำวิธีการศึกษาวิจัยไปปรับใช้ในการควบคุมโรคพืชในพืชชนิดอื่น ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การศึกษาด้านชีวภัณฑ์จากเชื้อราในการควบคุมโรคพืชนั้นมีความสำคัญในการช่วยลดผลกระทบจากการใช้สารเคมี รวมทั้งความกังวลเรื่องความปลอดภัยในอาหารและประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นทำให้มีการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ย่อมเป็นโอกาสในการค้นพบเชื้อราปฏิปักษ์สายพันธุ์ใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคพืช อย่างไรก็ตามการพัฒนาชีวภัณฑ์เพื่อจำหน่ายต้องดำเนินการขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร มีการทดสอบรับรองประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคพืชในแปลงปลูก ผ่านการทดสอบทางพิษวิทยาเพื่อการขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ถึงแม้จะมีการใช้ *Trichoderma* อย่างแพร่หลายในประเทศไทย แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่ผลิตในเชิงการค้า เช่น ไตรซาน® (*T. asperellum*) ไตร-แท็บ® (*T. asperellum*) ไตรโคกรีน® (*T. harzianum* DOA-TH50) และ ไตรม่า® (*T. asperellum* TST-032) เป็นต้น

การศึกษาวิจัยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวจะมีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ วิธีการทดสอบและทดสอบกับพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่จะมี

การศึกษาวิจัยในการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคข้าวแต่จะทดสอบคุณสมบัติปฏิปักษ์ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการและโรงเรือนปลูกพืชทดลองเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวในแปลงปลูกจะมีจำนวนน้อย (Ajulo *et al*., 2024; Tariq *et al*., 2025) อย่างไรก็ตามมีรายงานการทดลองการใช้เชื้อรา *Trichoderma* สายพันธุ์ต่างๆ ในการควบคุมโรคข้าวทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง แต่มีวิธีการทดลองที่แตกต่างกันรวมทั้งทดสอบกับพันธุ์ข้าวที่มีในแต่ละประเทศที่มีความต้านทานและอ่อนแอต่อโรคที่แตกต่างกันไป

อย่างไรก็ตามจากรายงานการศึกษาที่มีรายงานมาก่อนชี้ให้เห็นว่าเชื้อรา *Trichoderma* มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคข้าวที่สำคัญโดยการสร้างกลไกปฏิปักษ์ต่างๆ โดย Charoenrak and Chamswarng, (2015) รายงานการแช่เมล็ดและฉีดพ่นเชื้อรา *T. asperellum* 01-52 และ CB-Pin-01 สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่าง ใบจุดสีน้ำตาล ใบขีด กาบใบแห้ง รวมทั้งเพิ่มผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 โดยวิธีการที่ควบคุมโรคข้าวได้ดีที่สุดคือการแช่เมล็ดข้าวในเชื้อที่อัตรา 100 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร และฉีดพ่น 3 ครั้ง และ Perez-Torres *et al*., (2018) พบว่าน้ำเลี้ยงเชื้อของเชื้อรา *T. harzianum* สายพันธุ์ A -34 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาล กาบใบเน่า และโรคไหม้ของข้าวได้ในสภาพห้องปฏิบัติการ ขณะที่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์และน้ำเลี้ยงเชื้อสามารถลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ดีที่สุดที่ 67.5 เปอร์เซ็นต์ในข้าวพันธุ์ Perla de Cuba เมื่อทดสอบภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ที่ประเทศคิวบา และ Chou *et al*., (2020) พบว่าการฉีดพ่นเชื้อรา *T. harzianum* BTB 022 สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้และคอรวงไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับข้าวพันธุ์อ่อนแอ IR504 โดยสามารถลดการเข้าทำลายของโรคคอรวงไหม้ได้ดีกว่าใบไหม้เมื่อทดสอบในสภาพแปลงปลูก ประเทศกัมพูชา แต่ไม่สามารถลดการเกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อฉีดพ่นในข้าวพันธุ์ต้านทาน CAR14 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการฉีดพ่นเชื้อรา *T. harzianum* ไม่มีผลในการควบคุมโรคไหม้ในข้าวพันธุ์ต้านทาน

Mau *et al*., (2022) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. viride*, *T. harzianum*, *T. hamatum* และสารเคมี Trivia 73 WP ในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าวไร่ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ที่ประเทศอินโดนีเซีย พบว่าเมื่อฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของ *T. hamatum* ส่งผลลดการเกิดโรคได้ดีที่สุดที่ 27.05–36.42 เปอร์เซ็นต์ และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต รวมทั้งเพิ่มผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสามารถเพิ่มผลผลิตได้สูงสุด 35 เปอร์เซ็นต์

Intana *et al*., (2024) ได้แยกเชื้อรา *Trichoderma* จากดินมาทดสอบการสร้างสารประกอบอินโดล (indole compound) พบว่าเชื้อรา *T. breve* Z2-03 สร้างสารกลุ่มนี้ได้โดยสามารถสร้างสารกรดอินโดล-3-อะซิติกที่ 35.58 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร น้ำเลี้ยงเชื้อของเชื้อรานี้สามารถชักนำการงอก การเจริญของรากและยอดของต้นกล้าข้าวพันธุ์ช่อขิง และสามารถชักนำความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. solani* สาเหตุโรคกาบใบแห้ง โดยสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ 74.17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบแบบเลี้ยงคู่กัน เมื่อฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. breve* Z2-03 ในต้นข้าวสามารถเพิ่มจำนวนรวงและความสูงของข้าวได้ รวมทั้งยับยั้งการเกิดโรคกาบใบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อทดสอบภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

Safari Motlagh *et al*., (2023) ได้แยกเชื้อราเอนโดไฟท์ 68 สายพันธุ์จากใบข้าวที่เก็บในจังหวัด Guilan ประเทศอิหร่าน เมื่อนำมาทดสอบในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. oryzae* แบบวิธีเลี้ยงคู่กันพบว่าเชื้อรา *T. harzianum*, *T. virens*, *T. viride*, *Aspergillus fumigatus* และ *A. citri* สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. oryzae* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้กับข้าวพันธุ์ Hashemi ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง พบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ 27.36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. virens*, *T. viride* และ *A. fumigatus* สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ 20.75, 17.92 และ 16.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยัง

พบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราเอนโดไฟท์สามารถเพิ่มความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต้นข้าวได้มากกว่าชุดควบคุม

ขณะที่ Huang *et al*., (2026) รายงานว่าเชื้อราเอนโดไฟท์ *Phomopsis liquidambaris* และเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* สามารถยับยั้งการเกิดโรคต่างๆ ที่รวงข้าวก่อนเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าเชื้อทั้งสองชนิดมีฤทธิ์ส่งเสริมกัน เมื่อฉีดพ่นเชื้อทั้งสองชนิดนี้พร้อมกัน สามารถลดการเกิดโรคที่รวงข้าว ลดความรุนแรงของโรคและลดสารฟูโมนิซินในเมล็ดได้ 56.15, 44.44, และ 23.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Prismantoro *et al*., (2026) รายงานสารสกัดเอทิล อะซีเตตจากเชื้อรา *T. yunnanense* TM10 สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. solani* ได้ 75.43 เปอร์เซ็นต์เมื่อทดสอบในจานเลี้ยงเชื้อ เชื้อรา *T. yunnanense* TM10 สร้างสารที่ระเหยได้ 13 ชนิดและสารที่ไม่ระเหยได้ 19 ชนิดเป็นสารในกลุ่มเปปไทบอล ไซเดอโรฟอร์ เปปไทด์ และ สารที่เกี่ยวข้องกับการชักนำความต้านทานในพืช การศึกษาภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. yunnanense* TM10 สามารถลดการเกิดโรคกาบใบแห้งของข้าวพันธุ์ IR64 จาก 62 เหลือเพียง 8 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งสามารถชักนำให้เกิดการต้านทานในพืช และส่งเสริมการเจริญของข้าว

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการปลูกข้าวแบบแห้งหรือปลูกด้วยเมล็ดโดยตรงส่งผลให้ความรุนแรงของโรคไหม้และใบจุดสีน้ำตาลมากกว่าการปลูกข้าวแบบวิธีปักดำโดยใช้ต้นกล้า และการแช่เมล็ดข้าว Basmati ก่อนปลูก ในกรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid) ที่ความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม หรือ 2% โพแทสเซียมไนเตรต (potassium nitrate) ผสมแมนโคเซบ 50% WP และคาร์เบนดาซิม 25 % WP ก่อนปลูก ส่งผลเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกและการเจริญของต้นกล้า ยับยั้งการเกิดโรคไหม้ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย โรคใบจุดสีน้ำตาล ไหม้คอรวง และโรคเมล็ดด่างที่เกิดจากเชื้อรา รวมทั้งส่งเสริมการเจริญของต้นข้าวและผลผลิตที่ได้สูงกว่าชุดควบคุม (Dhillon *et al*., 2025)

ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคของยางพาราและข้าวโพด พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* สามารถควบคุมโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่จะมีรายงานการทดลองภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง อย่างไรก็ตามพบว่ารายงานการใช้เชื้อรา *Trichoderma* และเชื้อราปฏิปักษ์ชนิดอื่นในการควบคุมโรคของยางพาราและข้าวโพดมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับรายงานการใช้เชื้อรา *Trichoderma* และเชื้อราปฏิปักษ์ชนิดอื่นควบคุมโรคของข้าว โดย Promwee *et al*., (2017) รายงานว่าเชื้อรา *T. harzianum* FR-NST-009 ที่แยกได้จากดินรอบรากของต้นยางพาราในประเทศไทย สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. palmivora* สาเหตุโรคใบร่วงยางพาราได้มากกว่า 66.22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบแบบเลี้ยงคู่กัน นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. harzianum* FR-NST-009 ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* ได้ 92.42 เปอร์เซ็นต์ และยับยั้งการงอกของสปอร์แรงเจียมได้ 98.83 เปอร์เซ็นต์ โดยเชื้อรา *T. harzianum* FR-NST-009 สร้างสารสำคัญได้แก่ 6-เอ็น-เพนทิล-2เอช-ไพแรน-2-วัน ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* นอกจากนี้ยังพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* RB-NST-028 และ FR-NST-009 สามารถลดการเกิดโรคใบร่วงได้ไม่แตกต่างกับการใช้สารเคมีเมทาแลกซิลเมื่อทดสอบภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

Pujade-Renaud *et al*., (2019) ได้แยกเชื้อราเอนโดไฟท์ *Trichoderma* จากใบยางพาราป่า ประเทศบราซิล พบว่าสามารถสร้างกลไกปฏิปักษ์และสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต้านเชื้อรา *P. palmivora* สาเหตุโรคใบร่วงยางพาราได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากเอทิล อะซีเตตที่ได้จากเชื้อรา *Trichoderma* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคของยางพาราทั้งโรคใบร่วงและใบจุดก้างปลา ชี้ให้เห็นว่าเชื้อราเอนโดไฟท์ที่แยกได้จากใบยางพารามีคุณสมบัติปฏิปักษ์ในการเจริญเติบโตเร็วเพื่อแย่งชิงที่อยู่อาศัยและสารอาหาร รวมทั้งสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น (Vinale and Sivasithamparam, 2020; Guo *et al*., 2021; Sharma *et al*., 2023)

Mahendran *et al.,* (2021) รายงานว่าเชื้อรา *Rigidoporus microporus* และ *C. cassiicola* เป็นสาเหตุโรคที่สำคัญของยางพาราที่ประเทศมาเลเซีย ซึ่งจากการแยกเชื้อราเอนโดไฟท์จากเมล็ดยางพาราพบว่าเชื้อรา *Aspergillus terreus* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. microporus* และ *C. cassiicola* ได้ 100 และ 93.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทดสอบแบบเลี้ยงคู่กัน

Ma *et al*., (2023) รายงานว่าเชื้อรา *Trichoderma* 11 สายพันธุ์แสดงกลไกปฏิปักษ์โดยการสร้างสารที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *E. turcicum* 101 สาเหตุโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพด 80.81 และ 65.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทดสอบแบบเลี้ยงคู่กัน และพบว่าเชื้อรา *T. asperellum* 576 และ *T. atroviride* 393 สร้างเอนไซม์ไคติเนส เบต้า-1,3-กลูคาเนสและเซลลูเลส ย่อยผนังเซลล์เชื้อรา *E. turcicum* 101 และเมื่อทดสอบการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. asperellum* 576 ที่ความเข้มข้น 10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตรก่อนปลูก พบว่าสามารถกระตุ้นการงอกและส่งเสริมการเจริญเติบโต รวมทั้งสามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *E. turcicum* 101 ในต้นกล้าข้าวโพด ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง และ Wang *et al*., (2023) รายงานการใช้สารเคมีไดฟีโนโคนาโซล 300 กรัมต่อเฮกเตอร์ร่วมกับผงเชื้อรา *Trichoderma* 1.5 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ลงในดินก่อนปลูกข้าวโพดพันธุ์ Tieyan 58 สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดได้สูงถึง 72.4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใส่สารเคมีหรือเชื้อราอย่างเดียวจะลดการเกิดโรคได้ 56.2 และ 67.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทดสอบในแปลงปลูก ประเทศจีน

8.6 บทสรุป

เชื้อรา *Trichoderma* นับเป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่รู้จักกันดีและใช้กันอย่างแพร่หลายในการควบคุมโรคพืชซึ่งเชื้อรา *Trichoderma* สามารถแยกเชื้อและเลี้ยงเพิ่มปริมาณได้ง่าย สามารถเจริญเติบโตและสร้างสปอร์ได้อย่างรวดเร็วภายใน 3-4 วัน โดยได้มีการนำเชื้อรา *Trichoderma* มาพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์จำหน่ายทั่วโลกในหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบหัวเชื้อ

ผงผสมดิน น้ำและผงผสมน้ำ ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงให้ใช้งานได้สะดวก ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคพืช เชื้อรา *Trichoderma* สามารถสร้างกลไกปฏิปักษ์หลายแบบเพื่อใช้ในการยับยั้งการเจริญและการเข้าทำลายพืชของเชื้อราสาเหตุโรคพืชทั้งสร้างสภาวะของการเป็นเชื้อปรสิต สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีความสามารถในการแข่งขันเพื่อแย่งชิงที่อยู่และสารอาหาร ชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน รวมทั้งสร้างเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไคติเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และโปรติเอส ซึ่งมีฤทธิ์สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชในระหว่างเจาะเข้าไปในเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืช นอกจากนี้ยังพบว่า *Trichoderma* จะหลั่งสารทั้งแบบระเหยได้และสารที่ระเหยไม่ได้ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านจุลินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้จะยับยั้งการเจริญของเส้นใย การเข้าทำลายพืชและป้องกันการปลดปล่อยสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช รวมทั้งส่งผลทำให้สภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืช

ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงกรณีศึกษาการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการป้องกันกำจัดโรคข้าวจากผลงานวิจัยในการควบคุมโรคทางใบของข้าวได้แก่โรคกาบใบแห้ง ใบจุดสีน้ำตาล ใบไหม้ โรคที่เข้าทำลายรวงและเมล็ดข้าวได้แก่ โรคดอกกระถินและโรคเมล็ดด่าง การใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคใบร่วงและใบจุดก้างปลาของยางพารา และโรคใบไหม้แผลใหญ่ข้าวโพด ซึ่งมีผลการทดลองทั้งการทดสอบภายใต้ห้องปฏิบัติการ โรงเรือนปลูกพืชทดลองและแปลงปลูก รวมทั้งมีการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จาก *Trichoderma* ในรูปแบบผงเชื้อราพร้อมใช้

จากการศึกษาวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* แต่ละชนิดและสายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเชื้อรา *T. asperellum* และ *T. harzianum* มีประสิทธิภาพที่โดดเด่นกว่าชนิดอื่น ซึ่งรายงานการศึกษาในบทนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยการใช้เชื้อรา

Trichoderma ในการควบคุมโรคของข้าว ยางพารา ข้าวโพด หรือนำวิธีการศึกษาวิจัยไปปรับใช้ในการควบคุมโรคพืชในพืชชนิดอื่น ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตามพบว่าการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของรา *Trichoderma* ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะทดสอบในรูปแบบสารแขวนลอยสปอร์ ที่ความเข้มข้น 10^6-10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนชื้นย่อมส่งผลต่อการมีชีวิตรอดของสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* จึงต้องมีการพัฒนารูปแบบชีวภัณฑ์ที่มีการใส่สารเสริมประสิทธิภาพ ที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพและการคงอยู่ของเชื้อรา *Trichoderma* บนใบพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชเพิ่มเติมต่อไป โดยเฉพาะชีวภัณฑ์ *Trichoderma* เพื่อควบคุมโรคพืชที่เข้าทำลายใบหรือส่วนต่างๆ เหนือดิน ซึ่งจะได้ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมเช่น ลม ฝน แสงแดด ความร้อน เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันยังมีการศึกษาวิจัยจำนวนน้อย

8.7 เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. โรค-แมลงศัตรูข้าวและการป้องกันกำจัด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 56 หน้า.

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2565. โรคใบร่วงชนิดใหม่ของยางพารา. แผ่นพับ 2 หน้า

เกศิณี แก้วมาลา และ สมบัติ ศรีชูวงศ์. 2552. ประสิทธิผลของเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* spp. ต่อการควบคุมแอนแทรคโนสของถั่วเหลืองในระยะต้นอ่อน. วารสารเกษตร 25(3): 229–235.

จิระเดช แจ่มสว่าง. 2546. การควบคุมโรคพืชและแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี. โครงการเกษตรกู้ชาติ: โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีชีวภาพและชีวภัณฑ์ในการจัดการศัตรูพืชเพื่อทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.

จิระเดช แจ่มสว่าง และ วรรณวิไล อินทนู. 2550. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การวินิจฉัยโรคพืชและการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธีด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มา. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.

จิระเดช แจ่มสว่าง วรรณวิไล อินทนู และ ถวัลย์ คุ้มช้าง. 2544. ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* สูตรสำเร็จต่างๆ ในการควบคุมโรคโคนเน่าของถั่วฝักยาวที่เกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* การประชุมทางวิชาการประจำปีของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 พืชศาสตร์ การส่งเสริมการเกษตรและการสื่อสารการเกษตรกรุงเทพ ประเทศไทย. หน้า 236–242.

วาริน อินทนา มนตรี อิสรไกรศีล ศุภลักษณ์ เศรษฐสกุลชัย ประคอง เย็นจิตต์ และ ทักษิณ สุวรรณโน. 2550. ประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาซิเอนั่ม สายพันธุ์กลายในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการลดปริมาณเชื้อราไฟทอพทอร่า พาล์มมิโวร่าในสวนทุเรียน. วิทยาสารกำแพงแสน 5(3): 1–9.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568ก. รายละเอียดการปลูกข้าวนาปี. แหล่งที่มา: https://www.oae.go.th/view/1. วันที่สืบค้น 17 มีนาคม 2569.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568ข. รายละเอียดการปลูกยางพารา. แหล่งที่มา: https://catalog.oae.go.th/dataset/dataoae1404. วันที่สืบค้น 23 มีนาคม 2569.

เสริมวิทย์ กาฬภักดี อรอุมา เพียซ้าย วันวิสา ศิริวรรณ์ พิมใจ กาฬภักดี และ เนตรนภิส เขียวขำ. 2564. การประยุกต์ใช้ผงเชื้อ *Trichoderma asperellum* ต่อการควบคุมโรคกาบใบแห้ง ของข้าวที่เกิดจาก *Rhizoctonia solani*. วารสารแก่นเกษตร 45: 155–166.

อัฐภรณ์ พันยา วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์ ศิวิลัย สิริมังครารัตน์ พัฒนา ชมภูวิเศษ และ สุวิตา แสไพศาล. 2558. การทดสอบใช้เชื้อรา *Trichoderma* spp. เพื่อควบคุม กระตุ้นการเจริญเติบโตและความต้านทานโรคในต้นกล้ายูคาลิปตัส. วารสารแก่นเกษตร 43: 182–188.

Abdenaceur, R., Farida, B. T., Mourad, D., Rima, H., Zahia, O. and Fatma, S.H. 2022. Effective biofertilizer *Trichoderma* spp. isolates with enzymatic activity and metabolites enhancing plant growth. International Microbiology 25(4): 817–829.

Adedayo, A.A. and Babalola, O.O. 2023. Fungi that promote plant growth in the rhizosphere boost crop growth. Journal of Fungi 9: 239.

Ajulo, A.A., Bezerra, G.d.A., de Oliveira, R.S., Gonçalves, A.R., Moura, M.F.G.G., Cardoso, M.A.A. and de Filippi, M.C.C. 2024. Efficiency of bacterial isolates on suppressing brown spot in rice plants. Journal of Phytopathology 172: e13294.

Al-Askar, A.A., Saber, W.I., Ghoneem, K.M., Hafez, E.E. and Ibrahim, A.A. 2021. Crude citric acid of *Trichoderma asperellum*: tomato growth promotor and suppressor of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Plants 10(2): 222.

Antal, Z., Manczinger, L., Szakacs, G., Tengerdy, R.P. and Ferenczy, L. 2000. Colony growth, *in vitro* antagonism and secretion of extracellular enzymes in cold-tolerant strains of *Trichoderma* species. Mycological Research 104: 545–549.

Bai, B., Liu, C., Zhang, C., He, X., Wang, H., Peng, W. and Zheng, C. 2023. *Trichoderma* species from plant and soil: An excellent resource for biosynthesis of terpenoids with versatile bioactivities. Journal of Advanced Research 49: 81–102.

Baiyee, B., Ito, S.I. and Sunpapao, A. 2019. *Trichoderma asperellum* T1 mediated antifungal activity and induced defense response against leaf spot fungi in lettuce (*Lactuca sativa* L.). Physiological and Molecular Plant Pathology 106: 96–101.

Barakat, F. M., Abada, K. A., Abou-Zeid, N. M. and El-Gammal, Y.H.E. 2014. Effect of volatile and non-volatile compounds of *Trichoderma* spp. on *Botrytis fabae* the causative agent of faba bean chocolate spot. American Journal of Life Sciences 2: 11–18.

Bononi, L., Chiaramonte, J.B., Pansa, C.C., Moitinho, M.A. and Melo, I.S. 2020. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improves soybean plant growth. Scientific Reports 10(1): 2858.

Brondi, M., Florencio, C., Mattoso, L., Ribeiro, C. and Farinas, C. 2022. Encapsulation of *Trichoderma harzianum* with nanocellulose/carboxymethyl cellulose nanocomposite. Carbohydrate Polymers 295: 119876.

Campos-soriano, L., Garcia-Martinez, J. and San Segundo, B. 2012. The arbuscular mycorrhizal symbiosis promotes the systemic induction of regulatory defence-related genes in rice leaves and confers resistance to pathogen infection. Molecular Plant Pathology 13(6): 579–592.

Carillo, P., Woo, S. L., Comite, E., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., Fusco, G. M. and Vinale, F. 2020. Application of *Trichoderma harzianum*, 6-pentyl-α-pyrone and plant biopolymer formulations modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. Plants 9(6): 771.

Chalearmsrimuang, T., Ismail, S.I., Mazlan, N., Suasaard, S. and Dethoup, T. 2019. Marine-derived fungi: a promising source of halo tolerant biological control agents against plant pathogenic fungi. Journal of Pure and Applied Microbiology 13: 209–223.

Charoenrak, P. and Chamswarng, C. 2015. Application of *Trichoderma asperellum* fresh culture bioproduct as potential biological control agent of fungal diseases to increase yield of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences 21(2).

Chau, N.N.B., Van Minh, N., Nghiep, N.M., Vinh, N.P., Nghia, N.A. and Quoc, N.B. 2022. Identification and virulence evaluation of *Corynespora cassiicola* cassiicolin-encoding gene isolates from rubber trees in Vietnam. Tropical Plant Pathology 47(3): 378–385.

Chou, C., Castilla, N., Hadi, B., Tanaka, T., Chiba, S. and Sato, I. 2020. Rice blast management in Cambodian rice fields using *Trichoderma harzianum* and a resistant variety. Crop Protection 135: 104864.

Collinge, D.B., Jensen, D.F., Rabiey, M., Sarrocco, S., Shaw, M.W. and Shaw, R.H. 2022. Biological control of plant diseases—What has been achieved and what is the direction? Plant Pathology 71: 1024–1047.

Degani, O. and Gordani, A. 2022. New antifungal compound, 6-pentyl-α-pyrone., against the maize late wilt pathogen, *Magnaporthiopsis maydis*. Agronomy 12(10): 2339.

De la Cruz-Quiroz, R., Roussos, S., Rodríguez-Herrera, R., Hernandez-Castillo, D. and Aguilar, C.N. 2018. Growth inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phytophthora capsici* by native Mexican *Trichoderma* strains. Karbala International Journal of Modern Science 4(2): 237–243.

Dethoup, T., Jantasorn, A. and Kaewsalong, N. 2022. Efficacy of the antagonistic fungus *Talaromyces tratensis* KUFA0091 in controlling rice blast and brown leaf spot diseases in field trials. Agriculture and Natural Resources 56(4): 697–704.

Dethoup, T., Kaewsalong, N., Songkumorn, P. and Jantasorn, A. 2018. Potential of a marine-derived species, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. Biological Control 119: 1–6.

Dethoup, T., Klaram, R. and Jantasorn, A. 2023. Effects of fungicides and antagonistic marine-derived fungi on rice seedling promotion and rice sheath blight control. Plant Protection Science 59(2): 159–173.

Dhillon, B.S., Kumar, V. and Kaur, N. 2025. Impact of seed priming and fungicide seed treatments on disease development, crop growth and yield of dry direct-seeded Basmati rice in North-Western India.” Journal of Phytopathology 173: e70134.

Du, F.Y., Ju, G.L., Xiao, L., Zhou, Y.M. and Wu, X. 2020. Sesquiterpenes and cyclodepsipeptides from marine-derived fungus *Trichoderma longibrachiatum* and their antagonistic activities against soil-borne pathogens. Marine Drugs 18(3): 165.

El-Hasan, A., Walker, F., Klaiber, I., Schöne, J., Pfannstiel, J. and Voegele, R.T. 2022. New approaches to manage Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) using

Trichoderma spp. or their antifungal secondary metabolites. Metabolites 12(6): 507.

Esmail, S.M., Omar, G.E. and Mourad, A.M. 2023. In-depth understanding of the genetic control of stripe rust resistance (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) induced in wheat (*Triticum aestivum* L.) by *Trichoderma asperellum* T34. Plant Disease 107(2): 457–472.

Ferreira, F.V., Herrmann-Andrade, A.M., Calabrese, C.D., Bello, F., Vázquez, D. and Musumeci, M.A. 2020. Effectiveness of *Trichoderma* strains isolated from the rhizosphere of citrus tree to control *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium digitatum* A21 resistant to pyrimethanil in post-harvest oranges (*Citrus sinensis* L. (Osbeck)). Journal of applied microbiology 129(3): 712–727.

Flores-Nunez, V.M. and Stukenbrock, E.H. 2024. The impact of filamentous plant pathogens on the host microbiota. BMC Biology 22: 175.

Guo, R., Ji, S., Wang, Z., Zhang, H., Wang, Y. and Liu, Z. 2021. *Trichoderma asperellum* xylanases promote growth and induce resistance in poplar. Microbiological Research 248: 12676.

Guzmán-Guzmán, P., Etesami, H. and Santoyo, G. 2025. *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. BMC Microbiology 25: 434.

Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology 2(1):43-56.

Huang, S.-Z., Zhao, Z.-H., Xu, J.-Y., Ullah, Y., Fei, A.-J., Zhang, X.-Y. and Wu, X.-H. 2026. Endophytic fungus-induced phenazine-1-carboxylic acid production in *Pseudomonas aeruginosa* enhances biocontrol of rice spikelet rot disease. Microbiological Research 306: 128439.

Hu, X., Wang, J., Zhang, Y., Wu, X., Li, R. and Li, M. 2023. Visualization of the entire process of rice spikelet infection by *Ustilaginoidea virens* through nondestructive inoculation. Frontiers in Microbiology 14: 1228597.

Intana, W., Suwannarach, N., Kumla, J., Wonglom, P. and Sunpapao, A. 2024. Plant growth promotion and biological control against *Rhizoctonia solani* in Thai local rice variety “Chor Khing” using *Trichoderma breve* Z2-03. Journal of Fungi 10: 417.

Jiehua, Q., Shuai, M., Yizhen, D., Shiwen, H. and Yanjun, K. 2019. *Ustilaginoidea virens*: a fungus infects rice flower and threats world rice production. Rice Science 26(4): 199–206.

Keswani, C., Mishra, S., Sarma, B.K., Singh, S.P. and Singh, H.B. 2014. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. Applied Microbiology and Biotechnology 98: 533–544.

Khanal, S., Gaire, S.P. and Zhou, X.-G. 2023. Kernel smut and false smut: the old-emerging diseases of rice-a review. Phytopathology 113(6): 931–944.

Khan, R.A.A., Najeeb, S., Hussain, S., Xie, B. and Li, Y. 2020. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. Microorganisms 8(6): 817.

Klaram, R., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2022. Efficacy of marine antagonist *Trichoderma* spp. as halo-tolerant biofungicide in controlling rice diseases and yield improvement. Biological Control 172: 10498

Kohl, J., Kolnaar, R. and Ravensberg, W.J. 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. Frontiers in Plant Science 10: 845.

Kongcharoen, N., Kaewsalong, N. and Dethoup, T. 2020. Efficacy of fungicides in controlling rice blast and dirty panicle diseases in Thailand. Scientific Reports 10(1): 16233.

Kumar, V., Koul, B., Taak, P., Yadav, D. and Song, M. 2023. Journey of *Trichoderma* from pilot scale to mass production: a review. Agriculture 13: 2022.

Lazazzara, V., Vicelli, B., Bueschl, C., Parich, A., Pertot, I., Schuhmacher, R. and Perazzolli, M. 2021. *Trichoderma* spp. volatile organic compounds protect grapevine plants by activating defense-related processes against downy mildew. Physiologia Plantarum 172(4): 1950–1965.

Limdolthamand, S., Songkumarn, P., Suwannarat, S. and Jantasorn, A. 2023. Biocontrol efficacy of endophytic *Trichoderma* spp. in fresh and dry powder formulations in controlling northern corn leaf blight in sweet corn. Biological Control 181: 105217.

Limon, M.C., Pintor-Toro, J.A. and Benítez, T. 1999. Increased antifungal activity of *Trichoderma harzianum* transformants that overexpress a 33-kDa chitinase. Phytopathology 89: 254–261.

Li, N., Islam, M.T. and Kang, S. 2019. Secreted metabolite-mediated interactions between rhizosphere bacteria and Trichoderma biocontrol agents. PLoS One 14: e0227228.

Li, Y., Shao, J., Fu Y., Chen, Y., Wang, H., Xu, Z. and Zhang, R. 2022. The volatile cedrene from *Trichoderma guizhouense* modulates *Arabidopsis* root development through auxin transport and signaling. Plant, Cell and Environment 45(3): 969–984.

Locatelli, G.O., Pimentel, M.F., Bueno, L.A., Junior, M.L., Mascarin, G.M. and Finkler, C.L.L. 2022. Production of microsclerotia by *Trichoderma asperellum* through submerged liquid fermentation using low-cost nitrogen and carbon sources. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 44: 102455.

Lombardi, N., Vitale, S., Turrà, D., Reverberi, M., Fanelli, C., Vinale, F., Marra, R., Ruocco, M., Pascale, A., d'Errico, G., Woo, S.L. and Lorito M. 2018. Root exudates of stressed plants stimulate and attract *Trichoderma* soil fungi. Molecular Plant-Microbe Interactions 31: 982–994.

Madden, L.V., Hughes, G. and van den Bosch, F. 2007. The study of plant disease epidemics. American Phytopathological Society, St Paul. 471 p.

Mahendran, T. R., Thottathil, G. P., Surendran, A., Nagao, H. and Sudesh, K. 2021. Biocontrol potential of *Aspergillus terreus*, endophytic fungus against *Rigidoporus microporus* and *Corynespora cassiicola*, pathogens of rubber tree. Archives of Phytopathology and Plant Protection 54(15–16): 1014–1032.

Manamgoda, D.S., Rossman, A.Y., Castlebury, L.A., Crous, P.W., Madrid, H., Chukeatirote, E. and Hyde, K.D. 2014. The genus *Bipolaris*. Studies in Mycology 79: 221–288.

Martínez, Y., Heeb, M., Kalač, T., Gholam, Z., Schwarze, F.W., Nyström, G. and De France K. 2023. Biopolymerbased emulsions for the stabilization of *Trichoderma*

atrobrunneum conidia for biological control. Applied Microbiology and Biotechnology 107(4): 1465–1476.

Mathivanan, N., Prabavathy, V.R. and Vijayanandraj, V.R. 2005. Application of talc formulations of *Pseudomonas fluorescens* migula and *Trichoderma viride* pers. ex S.F. gray decreases the sheath blight disease and enhance the plant growth and yield in rice. Journal of Phytopathology 153(11-12): 697–701.

Maurya, M.K., Srivastava, M., Singh, A. and Ratan, V. 2017. Effect of different temperature and culture media on the mycelia growth of *Trichoderma viride* isolates. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 60: 266–269.

Mau, Y.S., Prayetno, R.S. and Kaka, H. 2022. Efficacy of indigenous *Trichoderma* isolates of West Timor, Indonesia, as biocontrol agents of brown spot (*Drechslera oryzae*) on two upland rice varieties. Egyptian Journal of Biological Pest Control 32: 62.

Ma, Y., Li, Y., Yang, S., Li, Y. and Zhu, Z. 2023. Biocontrol Potential of *Trichoderma asperellum* Strain 576 against *Exserohilum turcicum* in *Zea mays*. Journal of Fungi 9: 936.

Nandini, B., Puttaswamy, H., Prakash, H. S., Adhikari, S., Jogaiah, S. and Nagaraja, G. 2019. Elicitation of novel trichogenic-lipid nanoemulsion signaling resistance against pearl millet downy mildew disease. Biomolecules 10(1): 25.

Oktavia, F. 2020. Identification and diversity analysis of cassiicolin-encoding gene of *Corynespora cassiicola* isolates from rubber tree in Indonesia. Biodiversitas 21(8), 3499–3507.

Pantigoso, H.A., Newberger, D. and Vivanco, J.M. 2022. The rhizosphere microbiome: plant–microbial interactions for resource acquisition. Journal of Applied Microbiology 133: 2864–2876.

Perez-Torres, E., Bernal-Cabrera, A., Milanes-Virelles, P.,Marin-Guerra, S. and Monteagudo-Hernandez, O. 2018. Efficiency of *Trichoderma harzianum* (Strain A-34) and its culture filtrates on control of three rice fungal aerial diseases. Bioagro 30(1).

Poveda, J., Eugui, D., Abril-Urías, P. and Velasco, P. 2021. Endophytic fungi as direct plant growth promoters for sustainable agricultural production. Symbiosis 85: 1–19.

Price, T., Purvis, M. and Pruitt, H. 2016. A quantitative disease severity rating scale for northern corn leaf blight. Plant Health Progress 17: 49-50

Prismantoro, D., Awal, M. A., Jefferson, T. A., Oktavia, D., Permadi, N., Mispan, M.S. and Doni, F. 2026. Elucidating the biocontrol potential of *Trichoderma yunnanense* TM10 for managing sheath blight disease (*Rhizoctonia solani* Kühn) in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Plant Interactions 21(1).

Promwee, A., Yenjit, P. and Issarakraisila, M. 2017. Efficacy of indigenous *Trichoderma harzianum* in controlling Phytophthora leaf fall (*Phytophthora palmivora*) in Thai rubber trees. Journal of Plant Diseases and Protection 124: 41–50.

Pujade-Renaud, V., Déon, M., Gazis, R., Ribeiro, S., Dessailly, F., Granet, F. and Chaverri, P. 2019. Endophytes from wild rubber trees as antagonists of the pathogen *Corynespora cassiicola*. Phytopathology 109(11): 1888–1899.

Purwantisari, S., Priyatmojo, A., Sancayaningsih, R.P., Kasiamdari, R.S. and Budihardjo, K. 2018. Systemic inducing resistance against late blight by applying antagonist *Trichoderma viride*. Journal of Physics: Conference Series 1025(1): 012053.

Qi, Q., Fan, C., Wu, H., Sun, L. and Cao, C. 2023. Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. Microbiology Spectrum 11(3): e05084–22.

Rajani, P., Rajasekaran, C., Vasanthakumari, M.M., Olsson, S.B., Ravikanth, G. and Shaanker, R.U. 2021. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. Microbiological Research 242: 126595.

Redda, E.T., Ma, J., Mei, J., Li, M., Wu, B. and Jiang, X. 2018. Antagonistic potential of different isolates of *Trichoderma* against *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Botrytis cinerea*. European Journal of Experimental Biology 8(2): 1–8.

Rodríguez-González, Á., Mayo, S., González-López, Ó., Reinoso, B., Gutierrez, S. and Casquero, P.A. 2017. Inhibitory activity of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma* spp. on the insect pests *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrisomelidae: Bruchinae). Environmental Monitoring and Assessment 189(1): 1–8.

Safari Motlagh, M.R., Kulus, D., Kaviani, B. and Habibollahi, H. 2023. Exploring fungal endophytes as biocontrol agents against rice blast disease. Acta Agrobotanica 76: 1–13.

Sanchez, A.D., Ousset, M.J. and Sosa, M.C. 2019. Biological control of Phytophthora collar rot of pear using regional *Trichoderma* strains with multiple mechanisms. Biological Control 135: 124–134.

Sarrocco, S. 2023. Biological disease control by beneficial (micro) organisms: selected breakthroughs in the past 50 Years. Phytopathology 113: 732–740.

Sawant, I.S., Wadkar, P.N., Ghule, S.B., Rajguru, Y.R., Salunkhe, V.P. and Sawant, S.D. 2017. Enhanced biological control of powdery mildew in vineyards by integrating a strain of *Trichoderma afroharzianum* with sulphur. Biological Control 114: 133–143.

Scharf, D.H., Brakhage, A.A. and Mukherjee, P.K. 2016. Gliotoxine bane or boon? Environmental Microbiology 18: 1096–1109.

Seekham, N., Kaewsalong, N. and Dethoup, T. 2024a. Efficacy of *Trichoderma* obtained from healthy rice seeds in promoting seedling growth and controlling rice seed rot and false smut diseases under field conditions. European Journal of Plant Pathology 169(4): 657–668.

Seekham, N., Kaewsalong, N., Jantasorn, A., and Dethoup, T. 2024b. Biological control of Corynespora leaf fall disease in rubber by endophytic *Trichoderma* spp. under field conditions. European Journal of Plant Pathology 170(2): 207–218.

Seekham, N., Kaewsalong, N., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2024c. Field biocontrol efficacy of *Trichoderma* spp. in fresh and dry formulations against rice blast and brown spot diseases and yield effect. European Journal of Plant Pathology 170(1): 1–13.

Senapati, M., Tiwari, A., Sharma, N., Chandra, P., Bashyal, B.M., Ellur, R.K., Bhowmick, P.K., Bollinedi, H., Vinod, K.K., Singh, A.K. and Krishnan, S.G. 2022. *Rhizoctonia solani* Kühn pathophysiology: status and prospects of sheath blight disease management in rice. Frontiers in Plant Science 13: 881116.

Sharma, A., Gupta, B. and Verma, S. 2023. Unveiling the biocontrol potential of *Trichoderma*. European Journal Plant Pathology 167: 569–591.

Shyamli, S., Prem, D., Rs, T. and Atar, S. 2005. Production and antifungal activity of secondary metabolites of *Trichoderma virens*. Pesticide Research Journal 17: 26–29.

Siebatcheu, E.C., Wetadieu, D., Youassi, Y.O., Bedine, B.M.A., Bedane, K.G., Tchameni, N. S. and Sameza, M.L. 2023. Secondary metabolites from an endophytic fungus *Trichoderma erinaceum* with antimicrobial activity towards *Pythium ultimum*. Natural Product Research 37(4): 657–662.

Singh, P., Mazumdar, P., Harikrishna, J.A. and Babu, S. 2019. Sheath blight of rice: a review and identification of priorities for future research. Planta 250: 1387–1407.

Sirikamonsathien, T., Kenji, M. and Dethoup, T. 2023. Potential of endophytic *Trichoderma* in controlling Phytophthora leaf fall disease in rubber (*Hevea brasiliensis*). Biological Control 179: 105175.

Sridharan, A. P., Sugitha, T., Karthikeyan, G., Nakkeeran, S. and Sivakumar, U. 2021. Metabolites of *Trichoderma longibrachiatum* EF5 inhibits soil borne pathogen *Macrophomina phaseolina* by triggering amino sugar metabolism. Microbial Pathogenesis 150: 104714.

Suasa-ard, S., Eakjamnong, W. and Dethoup, T. 2019. A novel biological control agent against postharvest mango disease caused by *Lasiodioplodia theobromae*. European Journal of Plant Pathology 155(2): 583–592.

Tariq, M., Zahoor, M., Yasmeen, T., Naqqash, T., Rashid, M.A.R., Abdullah, M., Rafiq, A.R., Zafar, M., Irfan, I. and Rasul, I. 2025. Biocontrol efficacy of *Bacillus licheniformis* and *Bacillus amyloliquefaciens* against rice pathogens. PeerJ 13: e18920.

Thambugala, K.M., Daranagama, D.A., Phillips, A.J.L, Kannangara, S.D. and Promputtha, I. 2020. Fungi vs. fungi in biocontrol: an overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology 10: 604923.

Vijitrpanth, A., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2023. Potential and fungicidal compatibility of antagonist endophytic *Trichoderma* spp. from rice leaves in controlling dirty panicle disease in intensive rice farming. BioControl 68(1): 61–73.

Vinale, F. and Sivasithamparam, K. 2020. Beneficial effects of Trichoderma secondary metabolites on crops. Phytotherapy Research 34(11): 2835–2842.

Wang, D., Zhu, F., Wang, J., Ju, H., Yan, Y., Qi, S., Ou, Y. and Tian, C. 2024. Pathogenicity analyses of rice blast fungus (*Pyricularia oryzae*) from Japonica rice area of Northeast China. Pathogens 13: 211.

Wang, P., Wang, L., Liu, K., Liang, B., Gong, H., Chen, L. and Dong, H. 2023. Application of difenoconazole and *Trichoderma* broth combination for synergistic control of corn leaf blight and stalk rot in straw-returned fields in Liaoning Province. China Applied Sciences 15: 7834.

Woo, S.L., Hermosa, R., Lorito, M. and Monte, E. 2023. *Trichoderma*: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. Nature Reviews Microbiology 21: 312–326.

Xiao, Z., Zhao, Q., Li, W., Gao, L. and Liu G. 2023. Strain improvement of *Trichoderma harzianum* for enhanced biocontrol capacity: Strategies and prospects. Frontiers in Microbiology 14: 1146210.

Yang, P. 2017. The gene task1 is involved in morphological development, mycoparasitism and antibiosis of *Trichoderma asperellum*. Biocontrol Science and Technology 27: 620–635.

Yassin, M.T., Mostafa, A.A.F., Al-Askar, A.A., Sayed, S.R. and Rady, A.M. 2021. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize *in vitro*. Journal of King Saud University-Science 33(3): 101363.

Yassin, M.T., Mostafa, A.A.F. and Al-Askar, A.A. 2022. *In vitro* antagonistic activity of *Trichoderma* spp. against fungal pathogens causing black point disease of wheat. Journal of Taibah University for Science 16: 57–65.

Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil P. and Lee, J. 2023. Enhanced protection of tomato against Fusarium wilt through biopriming with *Trichoderma harzianum*. Journal of King Saud University-Science 35(2): 102466.

บทที่ 9
เชื้อราปฏิปักษ์ *Talaromyces* species
(Antagonistic Fungi, *Talaromyces* species)

เชื้อรา *Talaromyces* จัดอยู่ในชั้น Eurotiomycetes มีการสืบพันธุ์แบบใช้เพศโดยการสร้างแอสโคสปอร์ที่มีผนังหนาและมีการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศโดยสร้างสปอร์หรือโคนิเดีย (Fravel *et al*., 1995; Dethoup *et al*., 2024) โดยมีอนุกรมวิธานดังนี้

อาณาจักร Fungi
ไฟลัม Ascomycota
ชั้น Eurotiomycetes
อันดับ Eurotiales
วงศ์ Trichocomaceae
สกุล *Talaromyces*

มีรายงานว่าเชื้อรา *Talaromyces* มีคุณสมบัติปฏิปักษ์ควบคุมโรคพืชได้ตั้งแต่ในช่วงปี ค.ศ. 1992 โดย Fahima *et al*., (1992) ได้รายงานว่าเชื้อรา *T. flavus* สามารถสร้างสภาวะของการเป็นปรสิตเข้าทำลายเม็ดไมโครสเคลอโรเตียมของเชื้อรา *Verticillium dahliae* สาเหตุโรคเหี่ยวของฝ้ายและสามารถลดการงอกของเม็ดไมโครสเคลอโรเตียมได้เหลือเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ ในดินปลูกต้นฝ้ายที่มีการใส่เชื้อรา *T. flavus* ต่อมามีการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ชนิดแรกจาก *T. flavus* ออกสู่ตลาดในชื่อ PROTUS® เพื่อใช้ในการควบคุมโรคเน่าคอเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium ultimum* ในแตงกวาและ *Rhizoctonia solani* ในถั่ว (Koch, 1999)

หลังจากนั้นได้มีรายงานประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces* หลายชนิดในการป้องกันกำจัดโรคพืชและส่งเสริมการเจริญของพืชอย่างต่อเนื่อง เช่น การปลูกเชื้อรา *T. flavus* สายพันธุ์ TF-Co-M-23 และ TF-Po-V-50 ในดินสามารถเพิ่มความยาวราก ความสูงของต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นฝ้ายได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Naraghi *et al*., 2012) นอกจากนี้ Abdel-Rahim and Abo-Elyousr, (2018) รายงานว่าเชื้อราเอนโดไฟท์ *T. pinophilus* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Botrytis cinerea* โดยสร้าง

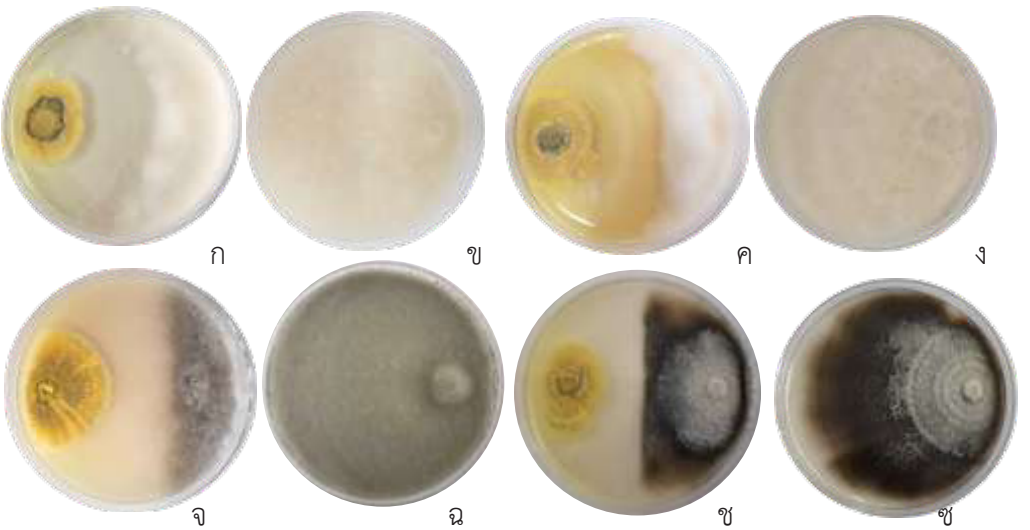
สภาวะของการเป็นปรสิตโดยสร้างเส้นใยพันรัดเส้นใยของเชื้อรา *B. cinerea* และพัฒนาโครงสร้างคล้ายซูโดแอพเพรซโซเรียม (pseudoappressorium) เพื่อเจาะเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อรา *B. cinerea*

ต่อมา Halo *et al*., (2019) พบว่า *T. omanensis* ที่แยกได้จากรากต้น *Rhazya stricta* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. aphanidermatum* สาเหตุโรคเน่าคอดินในแตงกวาและแรดิช (radish) รวมทั้งสามารถเพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแตงกวา โดยพบว่าเชื้อรา *T. omanensis* มีการสร้างเอนไซม์เบต้า-1,3-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซเดอโรฟอร์ด้วย และ Abbas *et al*., (2021) พบว่าเชื้อรา *T. flavus* TF-04 สามารถกระตุ้นการเจริญของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใส่ในดินปลูกข้าว สามารถลดการเกิดโรคกาบใบแห้งที่เกิดจากเชื้อรา *R. solani* และเพิ่มผลผลิตข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ Sui *et al*., (2025) รายงานว่า *T. assiutensis* TaS1GZL-1 สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *Sclerotinia sclerotiorum* ในแปลงปลูกถั่วเหลือง โดยการกระตุ้นการแสดงออกของ 12 ยีนที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการป้องกันตนเองในรากถั่วเหลือง ปัจจุบันมีรายงานเชื้อรา *Talaromyces* รวม 6 ชนิดได้แก่ *T. assiutensis*, *T. flavus*, *T. pinophilus*, *T. omanensis*, *T. tratensis* และ *T. variabilis* เป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชและส่งเสริมการเจริญของพืช (Bahramian *et al*., 2016; Dethoup *et al*., 2018; Halo *et al*., 2019; Naraghi and Negahban, 2019; Tian *et al*., 2022; Li *et al*., 2025)

9.1 กลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Talaromyces* spp. (Antagonistic Mechanism of *Talaromyces* spp.)

เชื้อรา *Talaromyces* สามารถสร้างกลไกปฏิปักษ์ยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หลายชนิดทั้งการแข่งขันเพื่อแย่งที่อยู่และสารอาหาร การสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ และมีสภาวะของการเป็นปรสิต ซึ่งการทดสอบกลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Talaromyces* spp. ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชในเบื้องต้นและการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลองและแปลงปลูกสามารถดำเนินการดังรายละเอียดในบทที่ 7

จากการศึกษาวิจัยพบว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคข้าว มะม่วง และทุเรียนได้หลายชนิด เช่น *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลและเมล็ดด่างของข้าว *Pyricularia oryzae* สาเหตุโรคไหม้ข้าว *Phytophthora palmivora* สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน *Fusarium incarnatum* สาเหตุโรคเมล็ดด่างของข้าว และ *Lasiodiplodia theobromae* สาเหตุโรคผลเน่าของทุเรียน โดยเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีการสร้างบริเวณยับยั้งในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช (ภาพที่ 9.1)



ภาพที่ 9.1 เชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 แสดงกลไกปฏิปักษ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชเมื่อเลี้ยงแบบคู่กัน บ่มที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียสนาน 10 วัน

ก. *T. tratensis* KUFA 0091 (ขวา) เลี้ยงคู่กับเชื้อรา *P. palmivora* KUFA 1611 (ซ้าย)

ข. *P. palmivora* KUFA 1611

ค. *T. tratensis* KUFA 0091 (ขวา) เลี้ยงคู่กับเชื้อรา *F. incarnatum* KUFA 1612 (ซ้าย)

ง. *F. incarnatum* KUFA 1612

จ. *T. tratensis* KUFA 0091 (ขวา) เลี้ยงคู่กับเชื้อรา *P. oryzae* KUFA 0470 (ซ้าย)

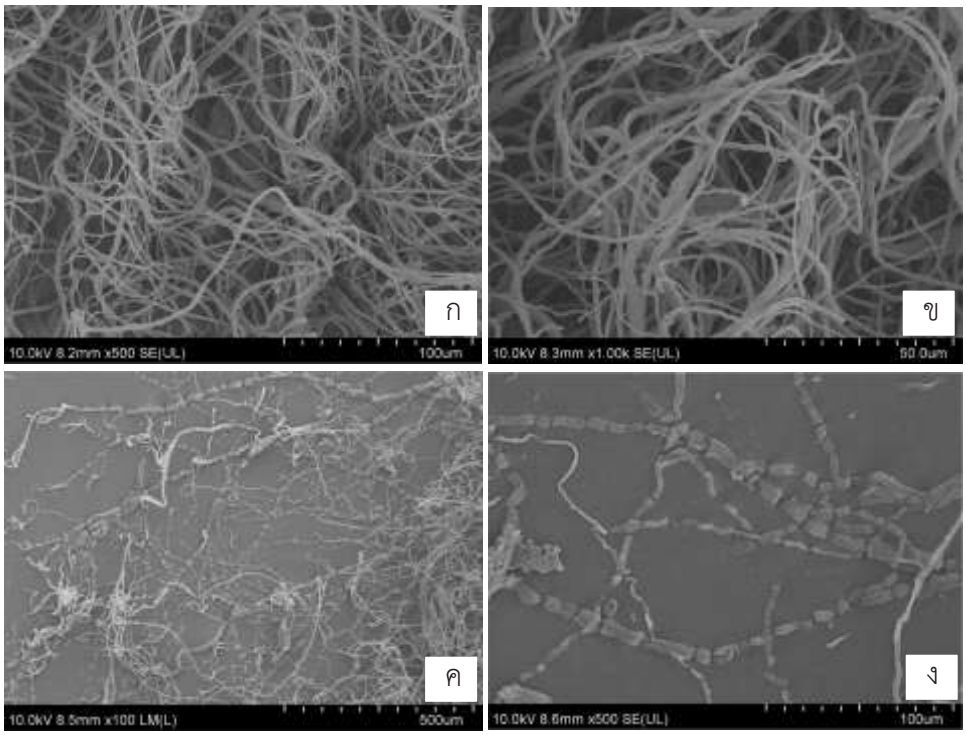
ฉ. *P. oryzae* KUFA 0470

ช. *T. tratensis* KUFA0091 (ขวา) เลี้ยงคู่กับเชื้อรา *B. oryzae* KUFA 0471 (ซ้าย)

ซ. *B. oryzae* KUFA 0471

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ซึ่งการสร้างบริเวณยับยั้งนี้แสดงว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สามารถสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช รวมทั้งมีกลไกการแก่งแย่งแข่งขันในการครอบครองพื้นที่และแย่งสารอาหาร (Dethoup *et al*., 2018) ซึ่งจากการตรวจสอบเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด พบว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สามารถสร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 0104 ส่งผลให้เส้นใยของเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 0104 มีลักษณะหงิกงอแตกหักเป็นท่อนไม่สามารถเจริญได้ตามปกติ (ภาพที่ 9.2)



ภาพที่ 9.2 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราดแสดงผลของเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สร้างโดยเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ต่อเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia theobromae* KUFA 0104 สาเหตุโรคขั้วผลเน่าในมะม่วง
ก.-ข. เส้นใยเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 0104 ที่เจริญปกติ
ค.-ง. เส้นใยเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 0104 ที่มีลักษณะหงิกงอแตกหักเป็นท่อนเมื่อเลี้ยงคู่กับเชื้อราปฏิปักษ์ *T. tratensis* KUFA 0091
ที่มา: Suasa-ard *et al*. (2019)

นอกจากนี้เชื้อรา *Talaromyces* บางชนิดยังมีคุณสมบัติมีสภาวะของการเป็นปรสิตโดย Abdel-Rahim and Abo-Elyousr (2018) รายงานว่าเชื้อรา *T. pinophilus* strain AUN-1 แสดงสภาวะของการเป็นปรสิตเข้าทำลายเส้นใยเชื้อรา *B. cinerea* สาเหตุโรคช่อดอกเน่าของหัวหอม โดยเส้นใยของเชื้อรา *T. pinophilus* strain AUN-1 สามารถเจริญพันรัดและเจาะเข้าทำลายเส้นใยของรา *B. cinerea* ได้ และ Kazerooni *et al*., (2019) พบว่าเชื้อรา *T. pinophilus* TT266 สามารถลดความรุนแรงจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *P. aphanidermatum* สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าในต้นแตงกวาจาก 38 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 8 เปอร์เซ็นต์และลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. solani* สาเหตุโรคโคนเน่าจาก 69 เปอร์เซ็นต์เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ด้วยสภาวะของการเป็นปรสิต

นอกจากเชื้อรา *Talaromyces* จะมีสภาวะของการเป็นปรสิตและมีความสามารถในการแก่งแย่งที่อยู่และอาหารแล้ว ยังสามารถส่งเสริมการเจริญของพืชได้ (Miyake *et al*., 2012; Naraghi and Negahban, 2019) โดย Naraghi *et al*., (2012) รายงานว่า *T. flavus* TF-Co-M-23 สามารถส่งเสริมการเจริญของต้นฝ้าย โดยสามารถเพิ่มความยาวราก ความสูงต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งได้ 1.80, 2.26, 1.23, และ 1.19 เท่าของชุดควบคุมและเพิ่มความยาวราก ความยาวของหัว ความสูงต้นและน้ำหนักแห้งของต้นมันฝรั่งได้ 1.71, 1.09, 1.45 และ 3.75 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ เมื่อแช่เมล็ดฝ้ายและมันฝรั่งในสารแขวนลอยสปอร์ของ *T. flavus* TF-Co-M-23

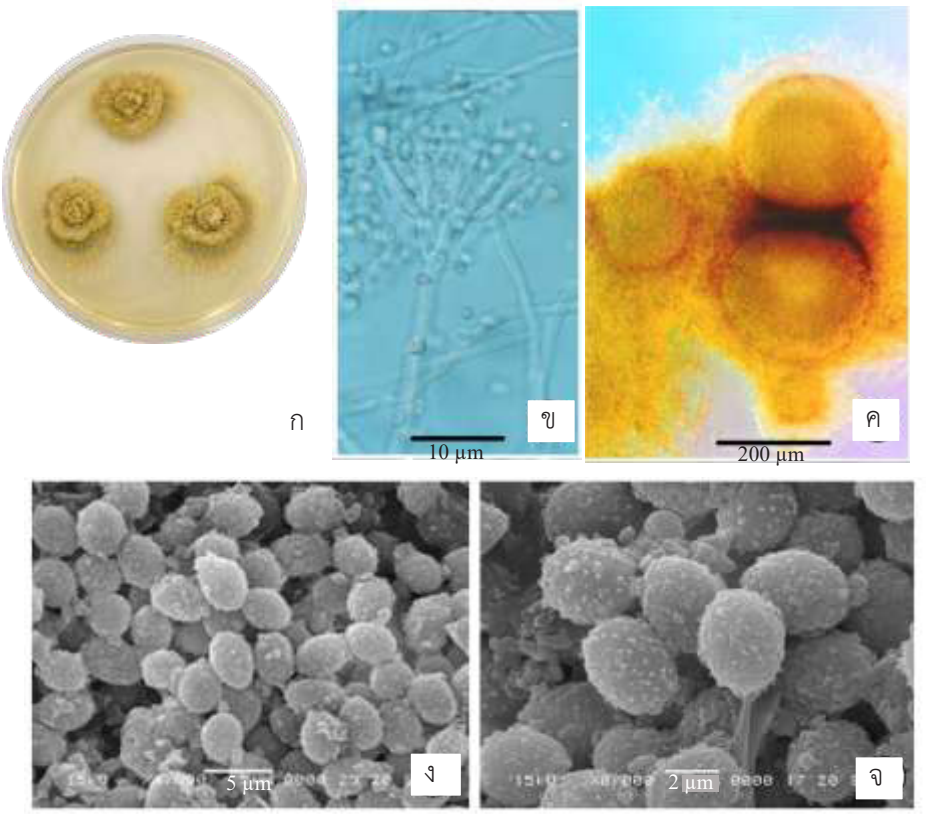
นอกจากนี้เชื้อรา *Talaromyces* ยังสามารถสร้างเอนไซม์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชโดย Halo *et al*., (2019) รายงานว่าเชื้อรา *T. variabilis* สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. aphanidermatum* โดยการสร้างเอนไซม์หลายชนิดได้แก่ กลูคาเนส เซลลูเลส และไซเดอโรฟอร์ เพื่อยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. aphandermatum* ทำให้เส้นใยเชื้อราผิดปกติและยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium* ส่งผลลดความรุนแรงของโรครากเน่าโคนเน่าของแตงกวาและมะเขือเทศ นอกจากนี้เชื้อรา *T. variabilis* ยังช่วยเพิ่มอัตราการมีชีวิตรอดของต้นกล้าแตงกวาจาก 18 เป็น 52 เปอร์เซ็นต์และต้นกล้ามะเขือเทศจาก 20 เป็น 64 เปอร์เซ็นต์ (Halo *et al*., 2019; Thambugala *et al*., 2020)

จากผลการศึกษาวิจัยในปี พ.ศ. 2556 ภายใต้โครงการ “การพัฒนาสารชีวภาพและสารชีวภัณฑ์จากราทะเลเพื่อควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจ” ได้ค้นพบเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หลายชนิด ได้จัดจำแนกโดยใช้ลักษณะสัณฐานวิทยา โดยเชื้อราจะสร้างโคโลนีสีเหลือง เส้นใยฟูเล็กน้อย เมื่ออายุ 7 วันจะสร้างก้านชูสปอร์และสปอร์ในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ต่อมาเมื่ออายุ 10 วัน จะเริ่มสร้างระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศโดยการสร้างคริสโตทีเซียมและแอสโคสปอร์ (ภาพที่ 9.3) และได้วิเคราะห์ลำดับยีน Internal transcribed spacer ของ *T. tratensis* KUFA 0091 เพื่อยืนยันชนิดโดยมี Genbank accession number คือ KT728350 และได้ศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคข้าวที่สำคัญได้แก่ โรคไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาลและโรคเมล็ดด่างของข้าว รวมทั้งได้ทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไม้ผลที่สำคัญ ได้แก่ โรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วผลเน่าของมะม่วง รวมทั้งโรคผลเน่าของทุเรียน มีผลการศึกษาวิจัยดังนี้

9.2 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคข้าว (Efficacy of *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 in Controlling Rice Disease)

9.2.1 โรคเมล็ดด่าง

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีฤทธิ์ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในห้องปฏิบัติการ โรงเรือนปลูกพืชทดลองและภายใต้สภาพแปลงปลูก โดยพบว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีศักยภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลและโรคเมล็ดด่างของข้าวได้ 45.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบด้วยวิธีแบบเลี้ยงคู่กันและสร้างบริเวณยับยั้งได้ 1.3–1.5 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างชนิดอื่นคือ *Alternaria padwickii*, *Curvularia lunata* และ *F. incarnatum* ได้ 20-30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบด้วยวิธีแบบเลี้ยงคู่กัน (Dethoup *et al*., 2018)



ภาพที่ 9.3 ลักษณะโคโลนี การสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศและอาศัยเพศของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091

ก. ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส อายุ 14 วัน

ข. โคนิดิโอฟอร์หรือก้านชูสปอร์และสปอร์

ค. คริสโตทีเซียที่เกิดของแอสโคสปอร์

ง.-จ. ลักษณะของแอสโคสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

รวมทั้งเมื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่าง โดยวิธีเจือจาง พบว่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่าสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้ดีที่สุดที่ 52.36 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มจาก 100 เป็น 10,000 พีพีเอ็ม ในขณะที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างชนิดอื่นได้ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นสูงที่ 10,000 พีพีเอ็มแต่ที่ความเข้มข้นที่ 1,000 พีพีเอ็ม ยับยั้งการเจริญได้น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Dethoup *et al*., 2018; Chalearmsrimuang *et al*., 2019)

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรและสารสกัดเอทิล อะซีเตตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง พบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ 2 ครั้งในระยะข้าวออกรวงและอีกครั้งหลังจากการฉีดพ่นครั้งแรก 14 วัน และเก็บเมล็ดข้าวเมื่อข้าวอายุ 120 วัน มาประเมินโรคตามวิธีการของ Dethoup *et al*., (2018) สามารถลดการเกิดโรคได้ 60.52 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ลดการเกิดโรคได้สูงสุดที่ 44.74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบในโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

เมื่อนำสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดเอทิล อะซีเตต ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ไปทดสอบการควบคุมโรคเมล็ดด่างกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ภายใต้แปลงปลูกตำบลโคกสำโรง อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี พบการเกิดโรคในชุดควบคุมสูงถึง 81.52 เปอร์เซ็นต์ และพบการเข้าทำลายของเชื้อรา *F. incarnatum* สูงที่สุดที่ 73.34 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ *C. lunata* และ *A. padwicki* พบการเข้าทำลายที่ 15.01 และ 5.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 พบการเกิดโรค 30.04 และ 17.32 เปอร์เซ็นต์และลดการเกิดโรคได้ 63.15 และ 78.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการฉีดพ่น 1 และ 2 ครั้ง ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 1,000 5,000

และ 10,000 พีพีเอ็ม พบการเกิดโรค 68.59, 59.18 และ 43.38 เปอร์เซ็นต์ ลดการเกิดโรคได้ 21.27, 34.36 และ 45.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อฉีดพ่น 1 ครั้งและสามารถลดการเกิดโรคได้สูงสุด 61.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม 2 ครั้ง (ตารางที่ 9.1) นอกจากนี้ยังพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรและสารสกัดเอทิล อะซีเตตสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ต่อมาได้พัฒนารูปแบบและทดสอบประสิทธิภาพของผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ตามวิธีการของข้อ 9.4 เมื่อผสมน้ำอัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร จะมีความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าว กข57 ในสภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองในเบื้องต้น (ภาพที่ 9.4) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ผสมและไม่ผสมสารจับใบ 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (1% carboxymethyl cellulose) และ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 (1% tween 20)

จากผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่น 1 ครั้ง ในระยะข้าวออกรวง ด้วยผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุดที่ 33.5 และลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ 39.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) รองลงมาได้แก่การฉีดพ่นสารเคมีโพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15%+15% EC และสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การเกิดที่ 35.67 และสามารถลดการเกิดโรคได้ 37.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ 39.78 อย่างไรก็ตามการใส่สารจับใบ โดยการผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส ในสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 และ 10,000 พีพีเอ็ม และ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ในผงเชื้อราผสมน้ำความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ไกล้เคียงกัน ระหว่าง 40.5-44.01 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9.2)

ตารางที่ 9.1 ผลของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อทดลองภายใต้แปลงปลูก

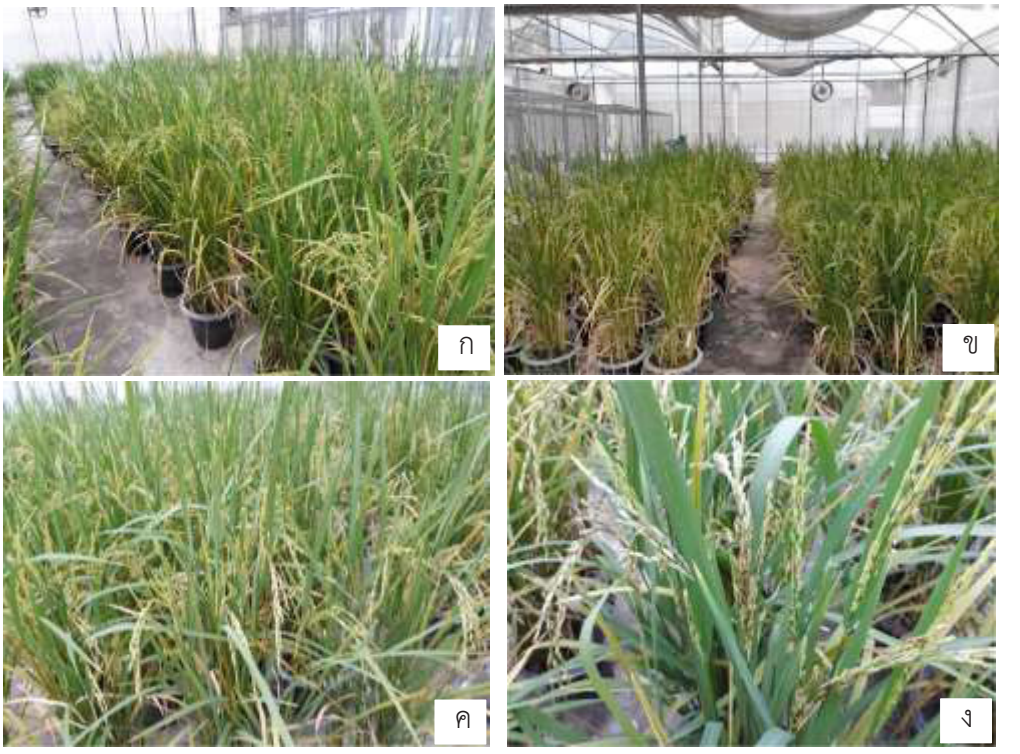
กรรมวิธี	จำนวนครั้งที่ฉีดพ่น	%การเกิดโรค[1/]	%การพบเชื้อราก่อโรคเมล็ดด่าง[2/]		
			Alternaria padwickii	*Curvularia lunata*	*Fusarium incarnatum*
1. สารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	1	30.04±4.39b^{c}	0^{a}	8.17 ± 1.95^{b}	25.31±0.21^{b}
	2	17.32±2.16^{a}	0^{a}	7.5 ± 1.35^{b}	14.25±2.36^{a}
2. สารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ 1,000 พีพีเอ็ม	1	68.59±8.34^{f}	0^{a}	14.75± 3.49^{c}	50.75±4.35^{f}
	2	58.75±3.32^{e}	1.25±0.56^{a}	15.26± 5.21^{cd}	47.64±1.23^{e}
3. สารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ 5,000 พีพีเอ็ม	1	59.18±2.56^{e}	0^{a}	16.73±3.29^{de}	48.32±1.35^{e}
	2	45.25±0.91^{d}	0^{a}	5.5±0.87^{a}	43.5± 2.5^{d}
4. สารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ 10,000 พีพีเอ็ม	1	43.38±5.14^{c}	0.31±0.09^{a}	17.85±2.68^{e}	31.69± 1.45^{c}
	2	30.33±3.21^{b}	0^{a}	13.66±0.54^{c}	25.67± 0.9^{b}
5. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	1	81.52±11.27^{h}	6.75±1.23^{c}	20.58±1.10^{f}	73.57±4.31^{h}
	2	79.31±9.33^{g}	3.29±2.11^{b}	17.75±2.34^{e}	69.11±3.69^{g}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% การเกิดโรค = $\frac{\text{(จำนวนเมล็ดข้าวที่เป็นโรคในแต่ละกรรมวิธีทดลอง} \times 100)}{\text{จำนวนเมล็ดข้าวทั้งหมดในแต่ละกรรมวิธีทดลอง}}$

[2/]% การพบเชื้อราก่อโรค = $\frac{\text{(จำนวนเมล็ดข้าวที่พบเชื้อราก่อโรคในแต่ละกรรมวิธีทดลอง} \times 100)}{\text{จำนวนเมล็ดข้าวทั้งหมดในแต่ละกรรมวิธีทดลอง}}$

ที่มา: Dethoup *et al*. (2018)



ภาพที่ 9.4 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง ณ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม.
ที่มา: ภาพถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ส่วนการฉีดพ่นผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้นต่ำที่ 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร มีการเกิดโรคที่ 45.5 เปอร์เซ็นต์และเมื่อผสมสาร 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคสูงขึ้นที่ 54.55 และ 58.41 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 9.2) พบว่าการใส่สารจับใบทั้ง 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ไม่ส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพของทั้งสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำโดยมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 9.2)

ตารางที่ 9.2 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง เมื่อฉีดพ่น 1 ครั้ง

	กรรมวิธี	% การเกิดโรค[1/] เมล็ดด่าง
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	39.78±2.05^{bc}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	44.32±3.48^{cdef}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	48.50±2.65^{f}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	35.67±3.02^{ab}
5	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	40.5±3.61^{cd}
6	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	43.32±3.63^{cdef}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	45.05±4.65^{def}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	54.55±5.05^{g}
9	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	58.41±5.21^{g}
10	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	33.30±2.84^{a}
11	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	48.62±4.59^{f}
12	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	43.78±3.44^{cde}

ตารางที่ 9.2 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง เมื่อฉีดพ่น 1 ครั้ง (ต่อ)

	กรรมวิธี	**% การเกิดโรค[1/] เมล็ดด่าง**
13	ไดฟีโนโคนาโซล+โพรพิโคนาโซล 15% + 15% EC	35.67±3.21[ab]
14	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	73.33±6.08[h]
15	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	74.58±5.87[h]
16	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	73.90±6.52[h]

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]%การเกิดโรคเมล็ดด่าง = $\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และคณะ (2564)

ในการทดลองฉีดพ่น 2 ครั้ง ในระยะออกรวงและหลังจากการฉีดพ่นครั้งแรก 14 วัน ภายใต้โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีประสิทธิภาพเทียบเท่าสารเคมีและมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้ดีกว่าการฉีดพ่นผงเชื้อราผสมน้ำ โดยการฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม มีการเกิดโรคเมล็ดด่างน้อยที่สุดที่ 28.5 เปอร์เซ็นต์และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารเคมีโพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15% + 15% EC และการฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการเกิดโรคที่ 29.74 และ 29.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 9.3) นอกจากนี้การฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 33.48 และเมื่อผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 และ 1 เปอร์เซ็นต์คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่สูง 34.5-34.92 ซึ่งการฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็มที่ไม่ผสมสารจับใบมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่มีการเกิดโรค

32.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 และ 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ส่งผลให้มีการเกิดโรคสูงขึ้นเป็นที่ 36.55 และ 38.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ 41.55 และเมื่อผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 และ ผสม 1 เปอร์เซ็นต์คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเพิ่มเป็น 42.69 และ 43.82 ตามลำดับ (ตารางที่ 9.3)

ซึ่งการฉีดพ่น 2 ครั้งด้วยสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม แบบไม่ผสมและผสม 1 เปอร์เซ็นต์คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้สูงสุดที่ 44.5 และ 44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดโรคเมล็ดด่างสูงกว่าการฉีดพ่นสารเคมีโพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15% + 15% EC ที่สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ที่ 43.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ 41.47, 40.5 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมสารจับใบทั้งสองชนิดไม่ส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำเมื่อทดสอบภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง (ตารางที่ 9.3)

ซึ่งคาดว่าการที่ทดลองในโรงเรือนนั้น ไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากฝน ลมและสภาวะอากาศอื่นๆ จึงได้ทดสอบในสภาพแปลงปลูกต่อไปแต่เลือกเฉพาะผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลสเนื่องจากมีราคาถูกกว่าทวีน 20 และมีลักษณะเป็นผงสามารถผสมในผงเชื้อราได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าการฉีดพ่นสารสกัดและผงชีวภัณฑ์เชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ดีกว่าการฉีดพ่น 1 ครั้ง ในการศึกษาในแปลงปลูกจึงได้ทดสอบโดยการฉีดพ่น 2 ครั้ง เท่านั้น

ตารางที่ 9.3 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง เมื่อฉีดพ่น 2 ครั้ง

	กรรมวิธี	% การเกิดโรค[1/] เมล็ดด่าง
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	33.48±2.57^{abc}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	34.50±3.02^{abcd}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	34.92±2.65^{abcd}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	28.31±2.16^{a}
5	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	30.44±2.94^{ab}
6	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	29.33±2.15^{a}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	41.55±3.68^{ef}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	43.82±3.40^{f}
9	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	42.69±3.09^{ef}
10	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	32.05±2.21^{abc}
11	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	38.67±2.83^{cdef}
12	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	36.55±2.47^{bcde}

ตารางที่ 9.3 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง เมื่อฉีดพ่น 2 ครั้ง (ต่อ)

	กรรมวิธี	**% การเกิดโรค[1/] เมล็ดด่าง**
13	สารไดฟีโนโคนาโซล+โพรพิโคนาโซล 15% + 15% w/v EC	29.74±2.03[a]
14	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	73.50±5.42[g]
15	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	74.29±6.05[g]
16	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	74.83±6.17[g]

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]%การเกิดโรคเมล็ดด่าง = $\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และคณะ (2564)

ในการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในรูปแบบพร้อมใช้ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ในสภาพแปลงปลูกได้ดำเนินการทดสอบ ที่ตำบลสาวร้องให้ อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง (ภาพที่ 9.5) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคเมล็ดด่างในสภาพการเข้าทำลายของโรคตามธรรมชาติ (natural infection) โดยทำการฉีดพ่น 2 ครั้ง ทดสอบทั้งในแปลงปลูกในระบบนาดำและนาหว่าน

ผลการทดลองประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการป้องกันกำจัดโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ในแปลงนาดำ พบว่าการฉีดพ่นสารโพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15%+15%EC พบการเกิดโรคเมล็ดด่างน้อยที่สุดที่ 20.22 เปอร์เซ็นต์และลดการเกิดโรคได้ 48.80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำเปล่า) รองลงมาได้แก่ การฉีดพ่นสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส มีการเกิดโรคที่

21.89 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดการเกิดโรคได้ 48.16 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร) ไม่ผสมและผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลสและสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม มีการเกิดโรคที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่ 23.56, 24.30 และ 24.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 9.4) และสามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ 45-46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม



ภาพที่ 9.5 แปลงทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ในแปลงปลูกแบบนาดำ ตำบลสาวร้องให้ อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง
ที่มา: ภายถ่ายโดย ธิดา เดชฮวบ

ซึ่งกรรมวิธีทั้งหมดนี้สามารถควบคุมโรคเมล็ดด่างได้ดีกว่าการใช้ชีวภัณฑ์ผงเชื้อรา *Trichoderma* ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่พบการเกิดโรค 32.33 เปอร์เซ็นต์และลดการเกิดโรคได้เพียง 36.69 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9.4) ส่วนการฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็มและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร พบการเกิดโรคเมล็ดด่างสูงและมีผลผลิตน้อยกว่าการฉีดพ่นสารสกัดความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็มและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

จากผลการทดลองในแปลงนาดำพบว่าการฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ ทั้งแบบผสมและไม่ผสมสาร 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเมล็ดด่างที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ให้ผลในการควบคุมโรคเมล็ดด่างได้ดีกว่าสารสกัดที่ไม่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 9.4)

นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพของฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำยังส่งผลต่อผลผลิตของข้าวกข57 โดยการฉีดพ่นสารสกัดของรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ให้ผลผลิตเทียบเท่าการฉีดพ่นสารเคมีที่ 702 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่ผสมและไม่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส สารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส มีผลผลิตที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ที่ 604-653 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 9.4)

ตารางที่ 9.4 ผลของการฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าว กข57 ในแปลงนาดำ

	กรรมวิธี	%การเกิดโรค[1/] เมล็ดด่าง	น้ำหนักผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	26.44±1.38^{bcd}	567.08±40.76^{b}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	28.33±1.70^{cde}	646.15±52.11^{ab}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	24.33±1.68^{abc}	618.11±46.84^{ab}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	21.89±1.54^{ab}	702.34±61.35^{a}
5	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	34.22±2.44^{f}	577.37±41.08^{b}
6	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	30.04±2.18^{def}	529.97±45.66^{b}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	23.56±1.63^{abc}	653.40±46.04^{ab}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	24.30±2.07^{abc}	604.14±43.31^{ab}
9	ชีวภัณฑ์เชื้อรา *Trichoderma*	32.33±2.36^{ef}	536.67±44.29^{b}
10	โพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15%+15%EC	20.22±1.17^{a}	705.33±53.28^{a}
11	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	69.02±4.32^{g}	542.52±41.56^{b}
12	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส)	70.05±5.04^{h}	526.38±40.27^{b}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]%การเกิดโรคเมล็ดด่าง = $\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และคณะ (2564)

เช่นเดียวกับผลการทดลองการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ในแปลงนาหว่าน ซึ่งการฉีดพ่นสารโพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15% + 15% EC พบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุดที่ 21.33 เปอร์เซ็นต์ และลดการเกิดโรคได้สูงสุดที่ 48.65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือการฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่พบการเกิดโรคที่ 25.11 และ 26.44 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเกิดโรคได้ 44.87 และ 43.98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ ซึ่งวิธีการทั้งหมดนี้สามารถควบคุมโรคเมล็ดด่างได้ดีกว่าการใช้ชีวภัณฑ์เชื้อรา *Trichoderma* ที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ 30.89 เปอร์เซ็นต์ และลดการเกิดโรคได้เพียง 39.09 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9.5)

อย่างไรก็ตามการฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรที่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ส่งผลให้การเกิดโรคสูงขึ้นที่ 31.89 และ 33.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลที่แตกต่างจากการทดสอบในแปลงนาดำที่การผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลสในสารสกัดทำให้สามารถควบคุมโรคได้ดีกว่า

ทั้งนี้การฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ทั้งที่ผสมและไม่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส สามารถเพิ่มผลผลิตได้เทียบเท่าการฉีดพ่นสารเคมี โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเพิ่มปริมาณผลผลิตเป็น 834-840 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ชุดควบคุมมีผลผลิตเพียง 538-572 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็มและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร พบการเกิดโรคสูงและมีผลผลิตน้อยกว่า การฉีดพ่นสารสกัดความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็มและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 9.5)

ตารางที่ 9.5 ผลของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าว กข57 ในแปลงนาหว่าน

	กรรมวิธี	**%การเกิดโรค[1/] เมล็ดด่าง**	**น้ำหนักผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)**
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	34.89±2.47^{d}	612.68±53.25^{cde}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	37.00±2.91^{d}	691.66±54.38^{bc}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	25.11±1.28^{ab}	840.3±68.04^{a}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	31.89±2.37^{bcd}	838.45±65.67^{a}
5	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	35.44±2.39^{d}	755.34±63.74^{ab}
6	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	38.00±3.11^{d}	686.09±54.29^{bcd}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	26.50±2.03^{abc}	834.61±66.84^{a}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	33.11±2.56^{cd}	772.12±67.30^{ab}
9	ชีวภัณฑ์เชื้อรา *Trichoderma*	30.89±2.14^{bcd}	774.68±56.91^{ab}
10	โพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 15%+15%EC	21.33±1.60^{a}	834.25±72.36^{a}
11	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	69.98±4.12^{e}	538.43±41.52^{e}
12	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส)	75.21±5.47^{e}	572.68±41.39^{de}

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]%การเกิดโรคเมล็ดด่าง = $\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่แสดงอาการของโรค}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และคณะ (2564)

9.2.2 โรคใบไหม้

นอกจากนี้จากการศึกษาวิจัยยังพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 หรือสารสกัดของ *T. tratensis* KUFA 0091 จำนวน 2 ครั้งในระยะแตกกอเมื่อพบอาการของโรคใบไหม้ในแปลงปลูก 5-10 เปอร์เซ็นต์และครั้งที่ 2 หลังจากฉีดครั้งแรก 14 วัน หลังจากฉีดพ่นครั้งที่สอง 14 วัน เก็บใบที่งอกใหม่มาประเมินความรุนแรงของโรคตามวิธีการที่ได้รายงานโดย Madden *et al*., (2007) สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ดีกว่าการฉีดพ่นเพียง 1 ครั้ง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อทดสอบในแปลงปลูกตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี โดยพบว่าการฉีดพ่นสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร รวม 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ 35.83 และ 35.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Dethoup *et al*., 2022) ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 และ 1,000 พีพีเอ็ม สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ 27.7 และ 19.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 9.6)

อย่างไรก็ตามพบว่าการฉีดพ่นสารคาร์เบนดาซิม 50% WP ลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ดีที่สุดที่ 29.73 และ 40.32 เปอร์เซ็นต์เมื่อฉีดพ่น 1 ครั้งและ 2 ครั้งตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม เพียง 1 ครั้งลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ 27.19 และ 27.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นสารสกัดของ *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 และ 1,000 พีพีเอ็ม 1 ครั้งสามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ได้เพียง 20.44 และ 13.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Dethoup *et al*., 2022)



ภาพที่ 9.6 ประสิทธิภาพการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคใบไหม้ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อฉีดพ่น 2 ครั้งในแปลงปลูก ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าและสารเคมี

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. สารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ค. สารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม

ง. สารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม

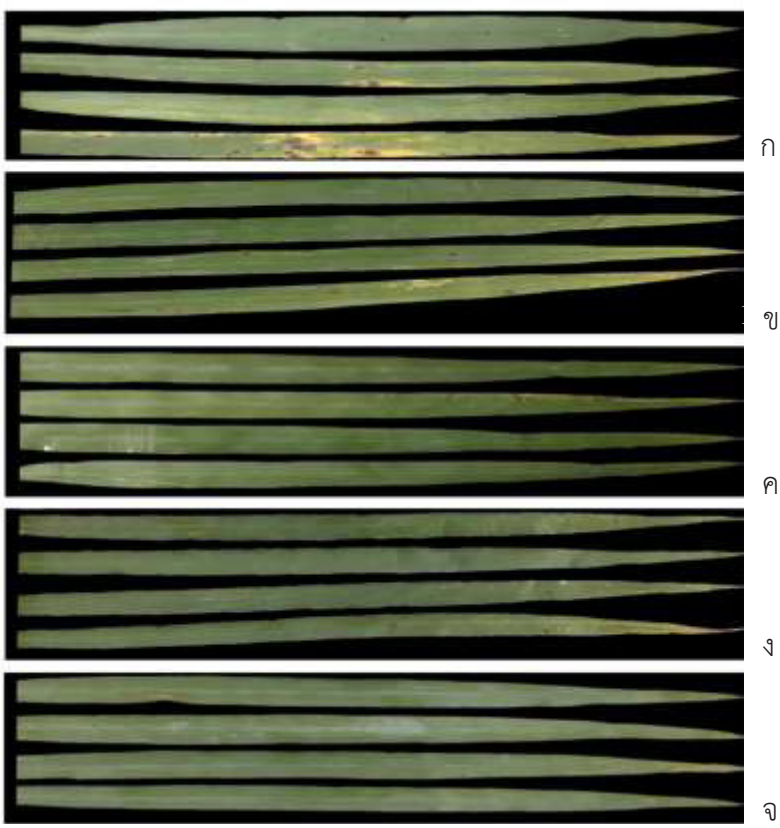
จ. คาร์เบนดาซิม 50% WP

ที่มา: Dethoup *et al*. (2022)

9.2.3 โรคใบจุดสีน้ำตาล

ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์หรือสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวกข57 โดยทำการทดลองฉีดพ่น 1 และ 2 ครั้ง ในระยะแตกกอเมื่อพบอาการของโรคในแปลงปลูก 5-10 เปอร์เซ็นต์และครั้งที่ 2 หลังจากฉีดครั้งแรก 14 วัน หลังจากฉีดพ่นครั้งที่ 1 และ 2 แล้ว 7 วัน เก็บใบที่ 2-3 ที่งอกใหม่มาประเมินความรุนแรงของโรคตามวิธีการของ Dethoup *et al*., (2022) ทดสอบในแปลงปลูกที่ตำบลอำนาจ อำเภอลืออำนาจ จังหวัดอำนาจเจริญ ผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์หรือสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวได้ดีกว่าการฉีดพ่นเพียง 1 ครั้ง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคได้ 52.47 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 9.7) และเมื่อการฉีดพ่นเพียง 1 ครั้ง ลดการเกิดโรคได้ 44.05 เปอร์เซ็นต์ (Dethoup *et al*., 2022)

ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 และ 1,000 พีพีเอ็ม สามารถลดการเกิดโรคได้ 45.58 และ 25.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อฉีดพ่น 2 ครั้ง และลดการเกิดโรคได้ 35.51 และ 19.67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่น 1 ครั้ง ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้นสูงที่ 10,000 พีพีเอ็มส่งผลเป็นพิษกับใบข้าว ทำให้ใบข้าวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ขอบใบไหม้ อย่างไรก็ตามการฉีดพ่นคาร์เบนดาซิม ลดการเกิดโรคได้สูงที่ 48.27 และ 60.11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่น 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ตามลำดับ



ภาพที่ 9.7 ผลของการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลข้าวกข57 เมื่อฉีดพ่น 2 ครั้งในสภาพแปลงปลูก ต. อำนาจ อ. ลืออำนาจ จ. อำนาจเจริญ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าและสารเคมี

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. สารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ค. สารสกัดที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม

ง. สารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม

จ. คาร์เบนดาซิม 50% WP

ที่มา: Dethoup *et al*. (2022)

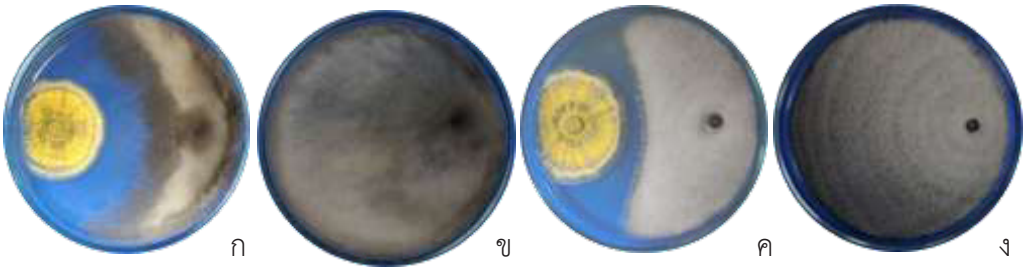
9.3 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคไม้ผล (Efficacy of *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 in Controlling Fruit Diseases)

มะม่วงนับเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยโดยมีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ จำนวน 599,369.61 ไร่ และมีเกษตรกรผู้ปลูกจำนวน 121,039 ครัวเรือน ในปี พ.ศ. 2566 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568) มีการผลิตทั้งเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกไปต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่สำคัญ คือ ประเทศมาเลเซีย เกาหลีใต้ เวียดนาม ญี่ปุ่น และสิงคโปร์ (เศรษฐกิจการค้าภูมิภาค กระทรวงพาณิชย์, 2568) อย่างไรก็ตามการผลิตมะม่วงต้องประสบปัญหากับการเข้าทำลายของโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และโรคขั้วผลเน่าที่เกิดจากการเข้าทำลายของ *Lasiodiplodia theobromae* ซึ่งเชื้อราเหล่านี้สามารถเข้าทำลายที่ใบ ช่อดอกและผลโดยเชื้อสามารถก่อโรคทั้งก่อนเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว ทำให้เกษตรกรต้องใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราจำนวนมากในการป้องกันกำจัด (ทวีศักดิ์ และวรางคณา, 2561)

จากการศึกษาวิจัยพบว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 0101 สาเหตุโรคผลเน่าของมะม่วงได้มากกว่า 57.68 เปอร์เซ็นต์และสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* KUFA 0102 ได้ 45.08 เปอร์เซ็นต์เมื่อทดสอบโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน (ภาพที่ 9.8)

และเมื่อชุบผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และสารสกัดเอทิล อะซีเตต ของเชื้อราที่ความเข้มข้น 1,000 5,000 และ 10,000 พีพีเอ็ม ก่อนการปลูกเชื้อราสาเหตุโรค *L. theobromae* สาเหตุโรคขั้วผลเน่า บริเวณหัว กลาง และปลายของผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน วัดขนาดแผลตามวิธีการของ Suasa-ard *et al*., (2019) ผลการทดลองพบว่าการชุบผลมะม่วงในสารแขวนลอยสปอร์ที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรสามารถลดความรุนแรงของโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดความ

รุนแรงของโรคผลเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *L. theobromae* ได้ 85.07 และ 77.15 เปอร์เซ็นต์ ในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ตามลำดับ โดยส่งผลลดขนาดแผลได้ดีที่สุดจาก 25.58 ตารางเซนติเมตร เหลือเพียง 2.79 ตารางเซนติเมตร เมื่อทดสอบกับมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 (ภาพที่ 9.9) แสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อรา *L. theobromae* (Dethoup *et al*., 2024) นอกจากนี้การชุบผลมะม่วงในสารแขวนลอยสปอร์ และสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ไม่มีผลต่อสี กลิ่น และลักษณะภายนอกของมะม่วง



ภาพที่ 9.8 ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคมะม่วง เมื่อทดสอบในอาหาร PDA โดยวิธีเลี้ยงคู่กัน บ่มที่อุณหภูมิ 28±2 องสาเซลเซียส นาน 10 วัน

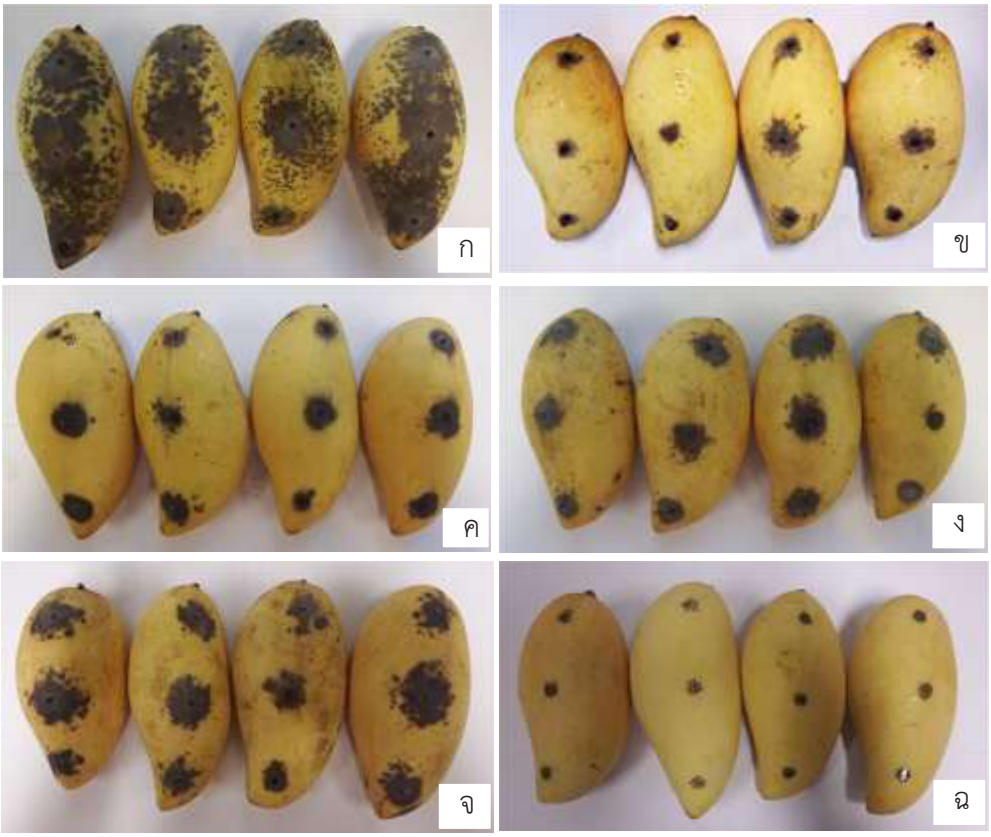
ก. *T. tratensis* KUFA 0091 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *Lasiodiplodia theobromae* KUFA 0101 (ซ้าย)

ข. *Lasiodiplodia theobromae* KUFA 0101

ค. *T. tratensis* KUFA 0091 (ขวา) เลี้ยงคู่กับ *Colletotrichum gloeosporioides* KUFA 0102 (ซ้าย)

ง. *Colletotrichum gloeosporioides* KUFA 0102

ที่มา: Suasa-ard *et al*. (2019)



ภาพที่ 9.9 ประสิทธิภาพของสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดของเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *Lasiodiplodia theobromae* KUFA 0104 สาเหตุโรคผลเน่าในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเบอร์ 4 เมื่อทดสอบโดยวิธีชุบผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. สารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 0^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ค. สารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม

ง. สารสกัดที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม

จ. สารสกัดที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม

ฉ. ไม่ได้ปลูกเชื้อ

ที่มา: Suasa-ard *et al*. (2019)

ต่อมาได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่มีการผสมและไม่ผสมสารจับใบได้แก่ ทวีน 20 และคาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส เพื่อควบคุมโรคแอนแทรคโนสหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงที่เกิดจากเชื้อรา *C. gloeosporioides* ในมะม่วง 2 สายพันธุ์ได้แก่น้ำดอกไม้สีทองและน้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยวิธีการชุบผลในแต่ละกรรมวิธี จากนั้นปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* บริเวณหัว กลางปลายของผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน วัดขนาดแผลตามวิธีการของ Suasa-ard *et al*., (2019) ผลการทดลองพบว่าการชุบผลมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์ ในสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้นสูง 10,000 พีพีเอ็ม จะมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคได้ดีกว่าการชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม และ ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

การชุบผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 สามารถลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสามารถลดการเกิดโรคได้ 77.26 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่การชุบผลมะม่วงในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และไม่ผสมสารจับใบสามารถลดการเกิดโรคได้ 74.81 และ 66.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่การชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 และ 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส สามารถลดการเกิดโรคได้ 64.94-65.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการชุบผลในสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ที่ไม่ผสมสารจับใบ ลดการเกิดโรคได้ 60.67 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการใส่สารจับใบช่วยเสริมประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ขณะที่การชุบผลมะม่วงในผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่มีความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรผสมสารจับใบทั้งสองชนิดสามารถลดการเกิดโรคได้ 51.07-52.99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการชุบในสารเคมีโปรคลอราซตามอัตราการใช้แนะนำจะลดการเกิดโรคได้ดีที่สุด ทำให้ไม่ปรากฏอาการของโรคบนผลมะม่วงที่ทดสอบ ส่วนการแช่น้ำร้อน 55

องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ลดการเกิดโรคได้สูงกว่าการใช้สารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 โดยสามารถลดการเกิดโรคได้ 91.84 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9.6, ภาพที่ 9.10)

ตารางที่ 9.6 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสโดยวิธีชุบผลในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

	กรรมวิธี	**พื้นที่เกิดโรค[1/] (ตารางเซนติเมตร)**	**%การลดความ[2/] รุนแรงของโรค**
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	16.19±1.44^{bc}	60.67±4.87^{f}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	14.20±1.05^{abc}	65.50±4.96^{e}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	14.43±1.08^{abc}	64.94±5.03^{e}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	13.68±1.54^{abc}	66.76±5.22^{d}
5	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	10.37±1.13^{ab}	74.81±6.30^{c}
6	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	9.36±0.82^{ab}	77.26±5.67^{b}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	23.04±2.68^{cd}	44.02±3.17^{i}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	19.35±1.07^{bcd}	52.99±4.29^{g}
9	ผงเชื้อรา *T. Tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	20.14±1.68^{bcd}	51.07±3.68^{h}

ตารางที่ 9.6 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสโดยวิธีชุบผลในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (ต่อ)

	กรรมวิธี	พื้นที่เกิดโรค[1/] (ตารางเซนติเมตร)	% การลด[2/] ความรุนแรงของโรค
10	แช่น้ำร้อน 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที	3.64±0.26[a]	91.84±8.54[a]
11	โปรคลอราซ 45%EC	*	*
12	ชีวภัณฑ์ *Trichoderma* TRICHOREX®	28.14±2.52[d]	31.63±2.91[j]
13	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	41.16±3.07[e]	
14	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	42.09±3.84[e]	
15	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	41.15±3.76[e]	

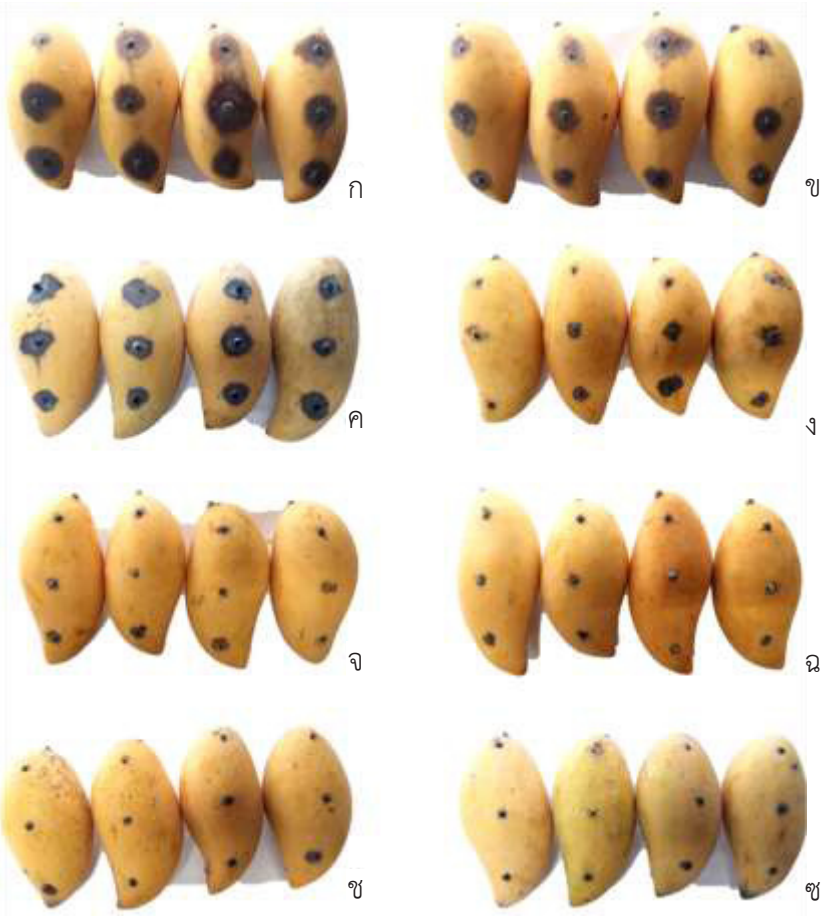
* ไม่พบอาการของโรค

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]พื้นที่เกิดโรค = $\pi \times$ ½ ขนาดของแผลกว้าง (เซนติเมตร) $\times$ ½ ขนาดของแผลยาว (เซนติเมตร)

[2/]% การลดความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{(พื้นที่เกิดโรคในชุดควบคุม- พื้นที่เกิดโรคในแต่กรรมวิธี)} \times 100}{\text{พื้นที่เกิดโรคในชุดควบคุม}}$

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)



ภาพที่ 9.10 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อราผสมน้ำ *T. tratensis* KUFA0091 ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดยวิธีชุบผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยการชุบในน้ำเปล่าและน้ำร้อน

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ค. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ง. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม

จ. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ฉ. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส

ช. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ซ. แช่น้ำร้อน 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)

ผลการทดสอบการควบคุมโรคแอนแทรคโนสกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกับการทดสอบในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง แต่พบการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคที่รุนแรงกว่า โดยก่อให้เกิดแผลที่มีขนาดใหญ่เมื่อบ่มไว้ที่สภาวะแวดล้อมเหมือนกันและเวลาเท่ากัน ผลการทดลองพบว่าการชุบผลมะม่วงในสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 สามารถลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสามารถลดการเกิดโรคได้ 82.69 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และไม่ผสมสารจับใบสามารถลดการเกิดโรคได้ 81.95 และ 80.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส สามารถลดการเกิดโรคได้ 61.02 เปอร์เซ็นต์

ขณะที่การชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ที่เหลือลดการเกิดโรคได้ 56.42-58.23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการชุบผลในผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ลดการเกิดโรคได้ 54 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่เหลือลดการเกิดโรคได้ 43.52-50.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับผลการทดลองของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง การชุบผลมะม่วงในสารเคมีโปรคลอราซ ตามอัตราแนะนำลดการเกิดโรคได้ดีที่สุด ไม่ปรากฏอาการของโรคบนผลมะม่วงที่ทดสอบ ส่วนการแช่น้ำร้อน 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ลดการเกิดโรคได้สูงสามารถลดการเกิดโรคได้ 90.79 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9.7, ภาพที่ 9.11)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมทวีน 20 และคาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ทำให้การควบคุมโรคดีกว่าการไม่ใส่ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และตัวเชื่อมประสาน (emulsifier) สามารถทำให้สารสกัดหรือผงเชื้อราสามารถกระจายตัวในน้ำได้และสามารถเกาะที่ผิวมะม่วงได้ดี ซึ่งจะช่วยให้มีปริมาณสารสกัดและผงเชื้อราเกาะที่ผิวของผลได้มากกว่า

ตารางที่ 9.7 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อราผสมน้ำ *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสโดยวิธีชุบผลในมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4

	กรรมวิธี	พื้นที่เกิดโรค[1/] (ตารางเซนติเมตร)	%การลดความ[2/] รุนแรงของโรค
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	27.17±1.72^{c}	56.42±3.60^{f}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	24.30±2.10^{bc}	61.02±5.38^{d}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	26.04±2.55^{c}	58.23±5.47^{e}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	11.25±1.04^{a}	81.95±7.24^{b}
5	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	12.38±1.17^{ab}	80.14±7.35^{c}
6	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	10.79±1.54^{a}	82.69±7.32^{b}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร	35.21±2.17^{c}	43.52±2.69^{j}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	30.86±2.03^{c}	50.50±3.56^{h}
9	ผงเชื้อรา *T. Tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	28.23±2.56^{c}	54.72±5.11^{g}
10	แช่น้ำร้อน 55°C นาน 5 นาที	5.74±0.38^{a}	90.79±7.12^{a}
11	โปรคลอราซ 45%EC	*	*

ตารางที่ 9.7 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสโดยวิธีชุบผลในมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 (ต่อ)

	กรรมวิธี	พื้นที่เกิดโรค[1/] (ตารางเซนติเมตร)	% การลด[2/] ความรุนแรงของโรค
12	ชีวภัณฑ์ *Trichoderma* TRICHOREX®	47.52±3.97[d]	23.77±1.05[j]
13	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	62.34±5.04[e]	
14	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	60.17±5.48[e]	
15	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	61.55±5.61[e]	

* ไม่พบอาการของโรค

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]พื้นที่เกิดโรค = $\pi \times$ ½ ขนาดของแผลกว้าง (เซนติเมตร) × ½ ขนาดของแผลยาว (เซนติเมตร)

[2/]% การลดความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{(พื้นที่เกิดโรคในชุดควบคุม- พื้นที่เกิดโรคในแต่กรรมวิธี)} \times 100}{\text{พื้นที่เกิดโรคในชุดควบคุม}}$

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)



ภาพที่ 9.11 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อราผสมน้ำ *T. tratensis* KUFA0091 ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยวิธีชุบผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยการชุบในน้ำเปล่า

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ค. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ง. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม

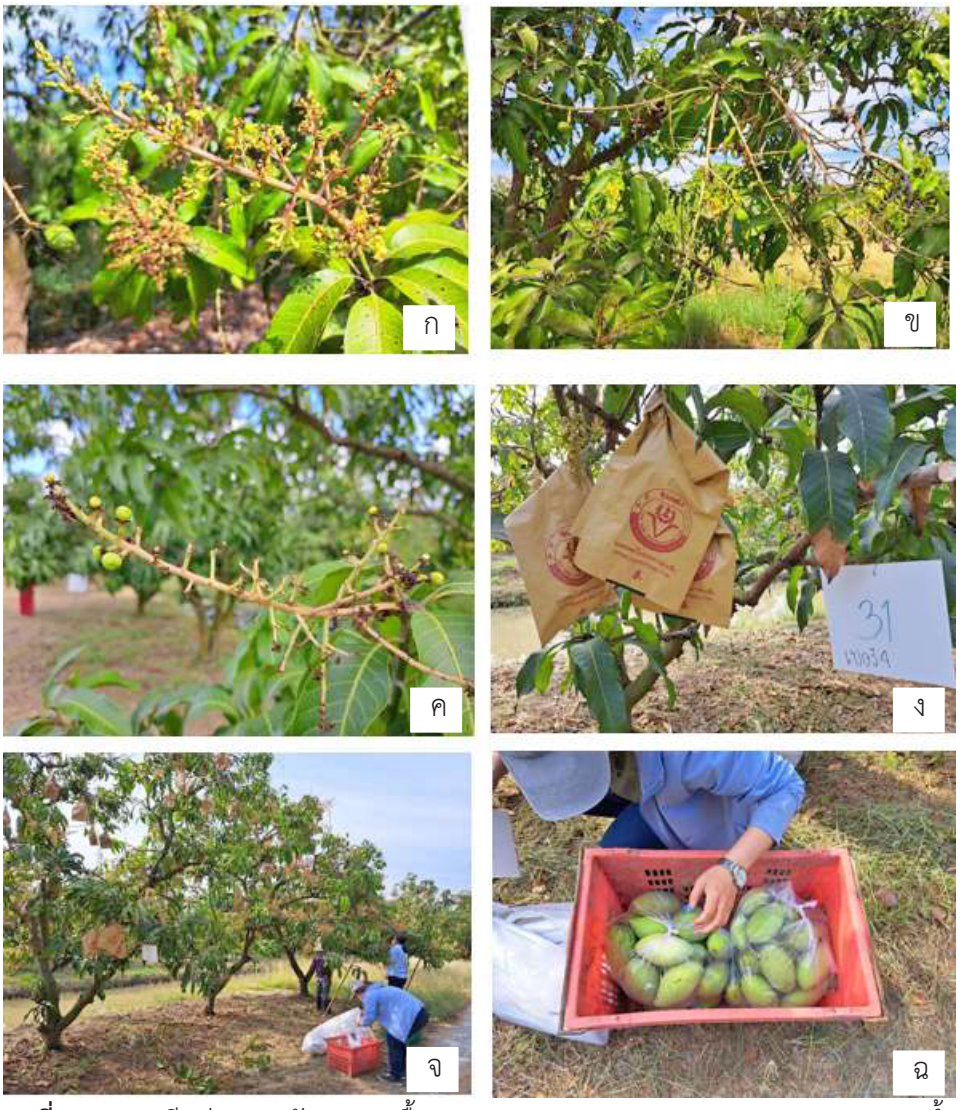
จ. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ฉ. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)

นอกจากนี้ได้คัดเลือกกรรมวิธีการฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 และ 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ไปทดสอบประสิทธิภาพต่อในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าในสภาพแปลงปลูกในมะม่วง 2 พันธุ์ ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ณ แปลงทดลอง ตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี และ ตำบลท่าปลายนา อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี โดยทำการฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อราผสมน้ำในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าในแปลงปลูก 3 ครั้งได้แก่ระยะออกดอก ระยะสร้างผลและระยะไข่ไก่ ตามด้วยการห่อด้วยกระดาษห่อผล เก็บผลเมื่อแก่เต็มที่เก็บใส่ถุงจากแต่ละกรรมวิธีนำมาจัดเรียงใส่กล่องๆ ละ 30 ลูก บ่มรวม 4 วัน (ภาพที่ 9.12) จากนั้นนำมาประเมินการเกิดโรค ตามวิธีการของ Dethoup *et al*., (2024)

ผลการทดลองพบว่าการฉีดพ่นสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 สามารถลดการเกิดโรคได้ 66.42 และ 61.81 เปอร์เซ็นต์ ในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ตามลำดับ ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ลดการเกิดโรคได้ 54.72 เปอร์เซ็นต์ ในมะม่วงทั้ง 2 ชนิด ส่วนการฉีดพ่นผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ลดการเกิดโรคได้ 41.98 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพบว่าการฉีดพ่นสารโพรคลอราซ ลดการเกิดโรคได้ดีที่สุดที่มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในมะม่วงทั้งสองพันธุ์ (ตารางที่ 9.8-9.9, ภาพที่ 9.13-9.14)



ภาพที่ 9.12 การฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าในแปลงปลูก ฉีดพ่น 3 ครั้ง ได้แก่ ระยะออกดอก ระยะสร้างผลและระยะไข่ไก่ ณ แปลงทดลอง ตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี และการเก็บผล

ก. ฉีดพ่นครั้งที่ 1 ในระยะออกดอก ข.-ค. ฉีดพ่นครั้งที่ 2 ในระยะสร้างผล

ง. ห่อผลในระยะไข่ไก่ จ.-ฉ. เก็บผลเมื่อผลแก่เต็มที่

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)

ตารางที่ 9.8 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในแปลงปลูก

	กรรมวิธี	% ความรุนแรง[1/] ของโรค[1]	% การลดความ[2/] รุนแรงของโรค
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	19.58±1.39^{c}	54.72±4.60^{c}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	14.52±1.08^{bc}	66.42±5.65^{b}
3	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^{6} สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	25.09±1.51^{c}	41.98±3.54^{d}
4	โพรคลอราซ 45%EC	5.11±0.43^{a}	88.18±7.14^{a}
5	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	43.24±3.68^{e}	

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% ความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนผลของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)}}{\text{จำนวนผลทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$

[2/]% การลดความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{(\%ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม- \%ความรุนแรงของโรคในแต่กรรมวิธี)}}{\text{\%ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)

ตารางที่ 9.9 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแปลงปลูก

	กรรมวิธี	%ความรุนแรง[1/] ของโรค	%การลดความ[2/] รุนแรงของโรค
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	18.27±1.21^{ab}	54.52±4.14^{c}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	15.34±1.56^{ab}	61.81±5.06^{b}
3	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	23.13±1.67^{c}	42.42±3.52^{d}
4	โพรคลอราซ 45%EC	6.39±0.55^{a}	84.09±7.28^{a}
5	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	40.17±3.07^{d}	

ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]% ความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนผลของโรคในแต่ละระดับ} \times \text{ระดับ)}}{\text{จำนวนผลทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$

[2/]% การลดความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{(\%ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม- \%ความรุนแรงของโรคในแต่กรรมวิธี)}}{\text{\%ความรุนแรงของโรคในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)



ภาพที่ 9.13 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในแปลงปลูก เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าและสารเคมี

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ค. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ง. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

จ. โพรคลอราซ 45% EC

ที่มา: Dethoup *et al*. (2024)



ภาพที่ 9.14 ประสิทธิภาพของการฉีดพ่นผงสารสกัดและผงเชื้อรา *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแปลงปลูก เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ฉีดพ่นน้ำเปล่าและสารเคมี

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ค. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ง. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

จ. โพรคลอราซ 45% EC

ที่มา: Dethoup *et al*. (2024)

จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคผลเน่าและโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงทั้งในสภาพแปลงปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับใช้ในระบบการผลิตมะม่วงอินทรีย์หรือปรับใช้แทนการฉีดพ่นสารเคมี อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านกลไกของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรค การคงอยู่ของเชื้อราบนใบและผลและรูปแบบที่ผสมสารจับใบที่จะช่วยคงประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและส่งเสริมการคงอยู่ของเชื้อราทั้งในภาชนะผลิตภัณฑ์และเมื่อนำไปใช้ในแปลงปลูก

นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเอทิล อะซีเตตและสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สามารถควบคุมโรคผลเน่าหลังการเก็บเกี่ยวของทุเรียนที่เกิดจากเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 1612 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อทำการทดสอบโดยนำผลทุเรียนขนาด 2.5-3 กิโลกรัม มาผ่านกระบวนการชุบผลทุเรียนในสารสกัดและสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. tratensis* KUFA0091 ดังกรรมวิธีต่างๆ ในตารางที่ 9.10 จากนั้นผึ่งให้แห้งและทำแผลขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ที่กลางผล รวม 3 พู ปลูกเชื้อด้วยเชื้อรา *L. theobromae* KUFA 1612 พร้อมให้ความชื้นที่บริเวณที่ปลูกเชื้อด้วยกระดาษทิชชูเปียก นำผลทุเรียนไปวางในกล่อง 4 ลูกต่อกล่อง บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 วัน จากนั้นนำมาประเมินโรคโดยวัดขนาดของแผลตามวิธีของ Dethoup *et al*., (2024) ผลการทดลองพบว่าผลทุเรียนในชุดควบคุม (น้ำเปล่า) จะพบอาการของโรคผลเน่าในเวลา 3-4 วัน โดยพบกลุ่มเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรค *L. theobromae* KUFA 1612 สีดำขึ้นปกคลุมบริเวณแผล แผลมีขนาดเฉลี่ย 72.31 ตารางเซนติเมตร เชื้อราลามเข้าด้านในผลเกิดเป็นแผลสีดำ เนื้อทุเรียนมีลักษณะเละกว่าปกติ (ภาพที่ 9.15ก.-ข.) (Dethoup *et al*., 2024)

ส่วนการชุบผลในสารเคมีโพรคลอราซลดการเกิดโรคได้ดีที่สุดที่ 85.85 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส ลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยลดการเกิดโรคได้ 67.68 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การชุบผลในสารสกัดเอทิล อะซีเตตที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ที่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 และไม่ผสมสารจับใบ ลดการเกิดโรคได้ 65.37 และ 66.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนการชุบผลทุเรียนในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส หรือ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ลดการเกิดโรคได้ 58.95 เปอร์เซ็นต์ และผลการชุบผลทุเรียนในผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ลดการเกิดโรคได้ 54.02 และ 51.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไม่ผสมสารจับใบลดการเกิดโรคได้เพียง 40 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9.10, ภาพที่ 9.15) (ธิดา และ ชุติมา, 2567)

ตารางที่ 9.10 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคผลเน่าของทุเรียนหมอนทองโดยวิธีชุบผล

	กรรมวิธี	พื้นที่เกิดโรค[1/] (ตารางเซนติเมตร)	% การลดโรค[2/]
1	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม	35.23±2.87^{bc}	51.28±4.55^{f}
2	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	30.19±2.03^{bc}	58.25±4.20^{d}
3	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	29.68±2.58^{bc}	58.95±4.63^{d}
4	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม	25.04±2.02^{b}	65.37±5.18^{c}
5	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	23.37±1.59^{b}	67.68±5.32^{b}
6	สารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	24.58±1.77^{b}	66.01±5.79^{c}
7	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร	40.21±3.47^{c}	44.39±3.88^{g}
8	ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	33.25±3.09^{bc}	54.02±4.13^{e}
9	ผงเชื้อรา *T. Tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	34.08±3.12^{bc}	52.87±4.64^{e}
10	โปรคลอราซ 45%EC	10.23±0.85^{a}	85.85±7.85^{a}
11	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)	72.31±5.81^{d}	

ตารางที่ 9.10 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคผลเน่าของทุเรียนหมอนทองโดยวิธีชุบผล (ต่อ)

	กรรมวิธี	พื้นที่เกิดโรค[1/] (ตารางเซนติเมตร)	%การลดโรค[2/]
12	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส	70.57±6.49[d]	
13	ชุดควบคุม (น้ำเปล่า) ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20	72.81±6.63[d]	

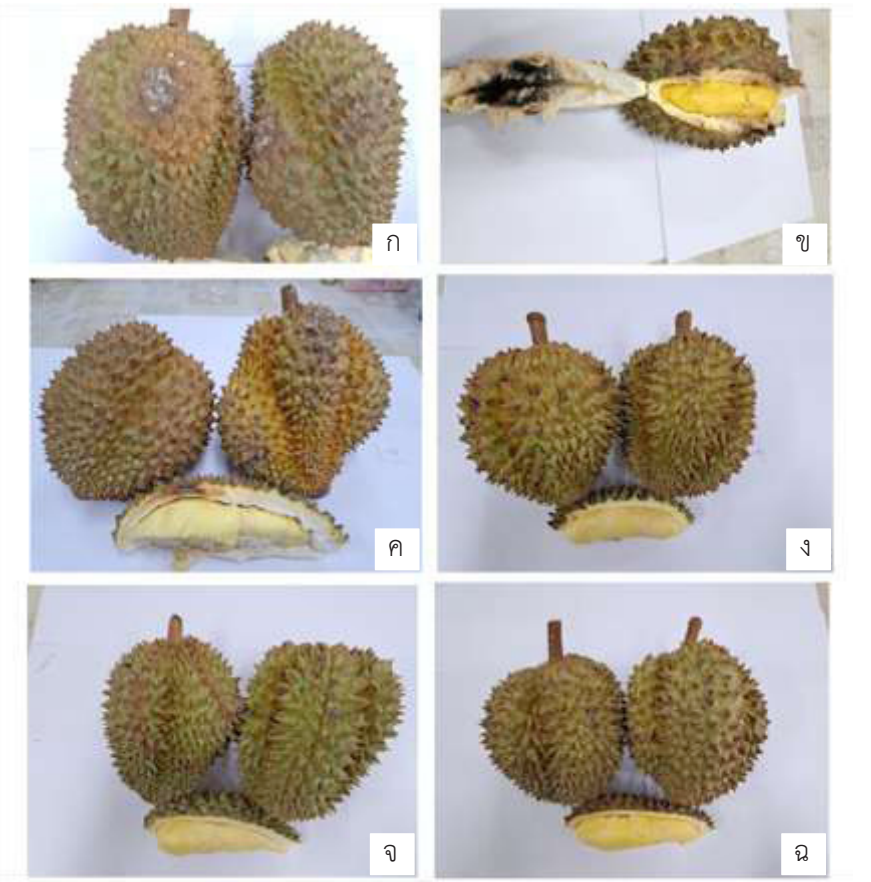
ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์โดย Duncan's multiple range test

[1/]พื้นที่เกิดโรค = $\pi \times$ ½ ขนาดของแผลกว้าง (เซนติเมตร) × ½ ขนาดของแผลยาว (เซนติเมตร)

[2/] %การลดความรุนแรงของโรค = $\frac{\text{(พื้นที่เกิดโรคในชุดควบคุม- พื้นที่เกิดโรคในแต่กรรมวิธี)}}{\text{พื้นที่เกิดโรคในชุดควบคุม}} \times 100$

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)

ถึงแม้ว่าทุเรียนจะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจ แต่การศึกษาด้านชีวภัณฑ์ในการควบคุมโรคผลเน่าของทุเรียนยังมีจำกัดโดยส่วนใหญ่เน้นให้มีการฉีดพ่นสารเคมี เช่น เมทาแลกซิล 25% WP เมทาแลกซิลผสมแมนโคเซบ 8%+64% WP ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม 80% WP ให้ทั่วทั้งต้น ประมาณ 1-2 ครั้ง ก่อนการเก็บเกี่ยว หรือแช่ผลทุเรียนในสารเคมี เช่น ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม โปรคลอราซ ก่อนผึ่งให้แห้งแล้วดำเนินการบรรจุหีบห่อ (ธิดา, 2559) ซึ่งการชุบผลในสารเคมีอาจส่งผลให้เกิดการกีดกันทางการค้าและส่งผลกระทบต่อผู้ใช้และผู้บริโภคโดยตรง ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้นับว่าสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคผลเน่าของทุเรียนหมอนทองโดยวิธีชุบผล ซึ่งอาจจะใช้เป็นแนวทางเลือกทางหนึ่งที่นำมาใช้ควบคุมโรคทุเรียนทดแทนการใช้สารเคมี



ภาพที่ 9.15 ประสิทธิภาพของสารสกัดและผงเชื้อราผสมน้ำ *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคผลเน่าของทุเรียนหมอนทองโดยวิธีชุบผล บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ก. ชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ข. แสดงอาการของโรคด้านในผลของชุดควบคุม (น้ำเปล่า)

ค. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

ง. ผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

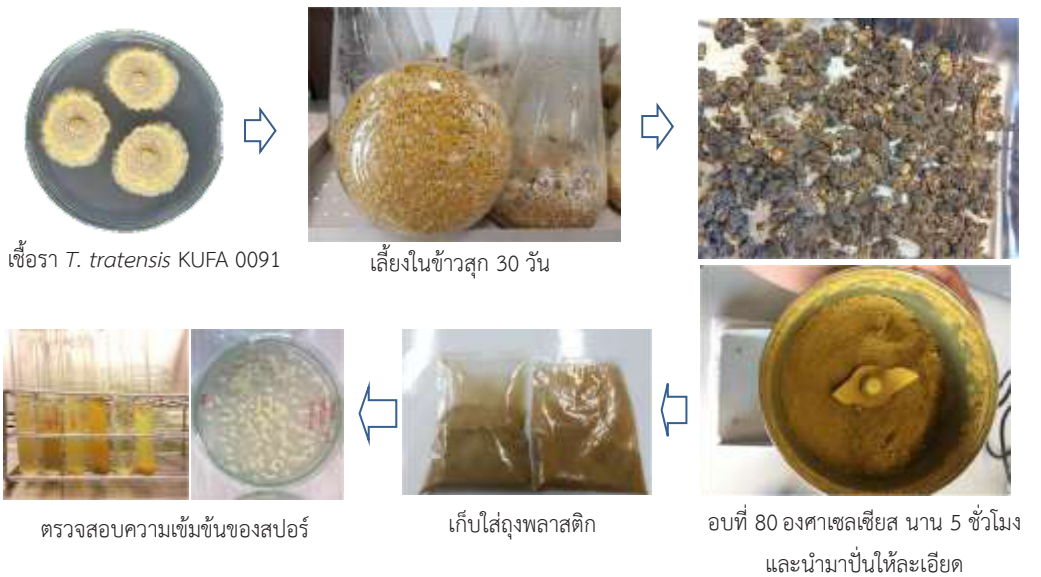
จ. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม

ฉ. สารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

ที่มา: ธิดา และ ชุติมา (2567)

9.4 การพัฒนาชีวภัณฑ์ (Development of Formulation)

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้พัฒนาชีวภัณฑ์ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 แบบพร้อมใช้ เช่นเดียวกับการผลิตชีวภัณฑ์ผงเชื้อรา *Trichoderma* ในบทที่ 8 เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้อย่างสะดวก โดยเลี้ยงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในอาหาร PDB บ่มไว้บนเครื่องเขย่าแบบหมุนรอบ (rotary shaker) ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 7 วัน เพื่อเตรียมสารแขวนลอยเส้นใยและสปอร์ จากนั้นนำข้าวหุงสุกปริมาณ 300 กรัมใส่ฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร ปิดจุกด้วยสำลี ฆ่าเชื้อโดยผ่านความร้อนชื้นภายใต้ความดัน (autoclave) ทำการปลูกเชื้อราลงไปโดยเทสารแขวนลอยเส้นใยและสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ข้าวที่เตรียมไว้ บ่มไว้เป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง นำเมล็ดข้าวที่มีเชื้อเจริญอยู่ออกมาและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (เชื้อรานี้สร้างแอสโคสปอร์ผนังหนาที่ทนอุณหภูมิสูงได้ถึง 80 องศาเซลเซียล) ผึ่งให้เย็นและนำมาบดให้ละเอียดจะได้ชีวภัณฑ์ผงเชื้อราพร้อมใช้ (ภาพที่ 9.16) (Klaram *et al*., 2022)



ภาพที่ 9.16 การพัฒนาชีวภัณฑ์ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091
ที่มา: Klaram *et al*. (2022)

ชีวภัณฑ์ผงเชื้อราที่ได้จะมีอัตราการใช้ในการควบคุมโรคอยู่ที่ 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร จะมีความเข้มข้นของสปอร์ที่ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ควรผสมกับสารจับใบเมื่อนำไปใช้ในการควบคุมโรคไม้ผล เช่นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือทวีน 20 ซึ่งเป็นสารจับใบที่ช่วยลดแรงตึงผิวและช่วยให้สารแขวนลอยสปอร์กระจายตัวในน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ มีความคงตัว ละลายในน้ำได้ดีและช่วยยึดเกาะที่ผิวใบหรือผลมะม่วงที่มีลักษณะมันสามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคขั้วเน่าของมะม่วงได้ แต่ในการควบคุมโรคข้าวไม่จำเป็นต้องใส่สารจับใบเนื่องจากผลการทดลองพบว่าการใส่สารจับใบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือทวีน 20 ไม่ส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคข้าวทั้งนี้อาจเนื่องมาจากใบและเมล็ดข้าวมีขนที่สารสกัดหรือผงเชื้อราสามารถเกาะติดได้ (Dethoup *et al*., 2018; Klaram *et al*., 2022; Dethoup *et al*., 2024)

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของชีวภัณฑ์ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ขนาดซองบรรจุ 500 กรัม มีต้นทุนทั้งหมดเท่ากับ 129.14 บาท (ตารางที่ 9.11) ในจำนวนนี้แบ่งเป็นต้นทุนผันแปร 81.56 บาท คิดเป็นร้อยละ 63.16 ของต้นทุนทั้งหมด และต้นทุนคงที่ 47.58 บาท คิดเป็นร้อยละ 36.84 ของต้นทุนทั้งหมด โดยต้นทุนผันแปรประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบมากที่สุดเท่ากับ 38.95 บาท คิดเป็นร้อยละ 30.16 ของต้นทุนทั้งหมด รองลงมาคือ ต้นทุนบรรจุภัณฑ์และฉลาก 15.20 บาท ต้นทุนแรงงาน 10.25 บาท ต้นทุนค่าไฟฟ้า 8.50 บาท ต้นทุนค่าเสียโอกาสเงินลงทุนระยะสั้น 5.16 บาท ต้นทุนค่าน้ำ 2.00 บาท และต้นทุนค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ 1.50 บาท ตามลำดับ ขณะที่ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วยต้นทุนค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์เครื่องมือมากที่สุดเท่ากับ 37.46 บาท คิดเป็นร้อยละ 29.01 ของต้นทุนทั้งหมด รองลงมาคือ ต้นทุนค่าเสียโอกาสเงินลงทุนอุปกรณ์เครื่องมือ 9.37 บาท และต้นทุนค่าเช่าที่ดินและสถานที่ 0.75 บาท ตามลำดับ ซึ่งหากจำหน่ายในราคาซองละ 200 – 250 บาท จะมีกำไร 70.86 – 120.86 บาท

ตารางที่ 9.11 ต้นทุนการผลิตชีวภัณฑ์ผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ขนาดซองบรรจุ 500 กรัม

รายการ	เป็นเงินสด	ไม่เป็นเงินสด	รวม	ร้อยละ
ต้นทุนทั้งหมด	**76.40**	**52.74**	**129.14**	**100.00**
ต้นทุนผันแปร	**76.40**	**5.16**	**81.56**	**63.16**
ต้นทุนวัตถุดิบ	38.95	-	38.95	30.16
ข้าวสาร	30.00	-	30.00	23.23
มันฝรั่ง	3.71	-	3.71	2.87
วุ้น	5.24	-	5.24	4.06
ต้นทุนแรงงาน	10.25	-	10.25	7.94
ต้นทุนบรรจุภัณฑ์และฉลาก	15.20	-	15.20	11.77
ค่าไฟฟ้า	8.50	-	8.50	6.58
ค่าน้ำ	2.00	-	2.00	1.55
ค่าซ่อมแซมอุปกรณ์	1.50	-	1.50	1.16
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุนระยะสั้น[1/]	-	5.16	5.16	4.00
ต้นทุนคงที่	**-**	**47.58**	**47.58**	**36.84**
ค่าเช่าที่ดิน/สถานที่	-	0.75	0.75	0.58
ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์/เครื่องมือ[2/]	-	37.46	37.46	29.01
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุนอุปกรณ์เครื่องมือ[1/]	-	9.37	9.37	7.26

[1/] ในการคิดค่าเสียโอกาสใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของลูกค้ารายย่อยชั้นดีของธนาคารพาณิชย์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.76 ต่อปี (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2563)

[2/] ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์คำนวณจากค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight line method) โดยค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ = (มูลค่าซื้อ – มูลค่าซาก) / อายุการใช้งาน

ที่มา: ธิดา และ คณะ (2564)

ในต่างประเทศมีรายงานการพัฒนาชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Talaromyces* ในการควบคุมโรคพืชอย่างต่อเนื่อง โดย Kakvan *et al*., (2013) ศึกษาการพัฒนาชีวภัณฑ์โดยการผสมเชื้อรา *T. flavus* กับสารตัวพาที่เป็นอนินทรีย์และสารอินทรีย์ เพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อรา *R. solani* สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าในต้นกล้าของหัวน้ำตาล (sugar beet) พบว่า

การคลุกเมล็ดหัวน้ำตาลก่อนปลูกด้วยชีวภัณฑ์เชื้อรา *T. flavus* ผสมพีท (peat) และ *T. flavus* ผสมทัลคัม (talcum) ช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *R. solani* และช่วยเพิ่มการอยู่รอดของต้นกล้าจาก 6 ต้นเป็น 14 และ 13.25 ต้น ตามลำดับ ขณะที่ Bahramian *et al*., (2016) รายงานว่าการใส่สารโซเดียม ไนเตรต (sodium nitrate) และดี-ไซโคลเซอรีน (D-cycloserine) ในชีวภัณฑ์ Protus WG® ที่ผลิตจากเชื้อรา *T. flavus* สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเหี่ยวในมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Verticillium* และ *Fusarium* ได้

จากผลการเลี้ยงแบบคู่กันกับเชื้อราสาเหตุโรคพืช ชี้ให้เห็นว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 มีคุณสมบัติปฏิปักษ์โดยการสร้างเอนไซม์หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อแก่งแย่งที่อยู่และอาหารในการเจริญเติบโตกับเชื้อราสาเหตุโรคข้าว ซึ่งนับว่าแตกต่างจากกลไกในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคพืชของเชื้อราในสกุล *Talaromyces* ที่มีรายงานมาก่อนหน้านี้ ที่รายงานว่าเชื้อรา *Talaromyces* สายพันธุ์ปฏิปักษ์จะมีสภาวะของการเป็นปรสิตกับเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น *Rhizopus oryzae*, *Gibberella fujikuroi* และ *P. graminicola* ในการทดสอบแบบเลี้ยงคู่กัน (Miyake *et al*., 2012; Naraghi *et al*., 2012) เป็นต้น

จากการศึกษาวิจัยชี้ให้เห็นว่าเชื้อราปฏิปักษ์จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคข้าวที่แตกต่างกันโดยขึ้นกับวิธีการใช้ พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบรวมทั้งสภาพอากาศของแปลงที่ทดสอบ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรสามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ 63.15 และ 78.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการฉีดพ่น 1 และ 2 ครั้ง ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม รวม 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคได้สูงสุด 61.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบในแปลงปลูก แต่เมื่อนำมาทดสอบการควบคุมโรคเมล็ดด่างในข้าวกข57 กลับมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้น้อยกว่า

โดยการฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำ สามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ได้น้อยกว่าการทดลองการควบคุมโรคในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยพบว่าการฉีดพ่นสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส รวม 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคได้สูงสุดที่ 48.16 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำ ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (10 กรัมต่อ น้ำ 1 ลิตร) ไม่ผสมและผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลสและสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และสามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ 45-46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในแปลงนาหว่าน ซึ่งให้ผลการทดลองไกล้เคียงกับแปลงนาดำ

นอกจากนี้การฉีดพ่นต้นข้าวด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรของเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอ ในช่วงพบโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวกข57 ในแปลงปลูก 5-10 เปอร์เซ็นต์และฉีดพ่นอีกครั้งหลังจากฉีดครั้งแรก 14 วัน สามารถลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ 45.04 และ 52.47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อการฉีดพ่น 1 และ 2 ครั้ง ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ต่ำที่ 35.83 และ 35.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อการฉีดพ่น 2 ครั้ง ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้เป็นแนวทางการศึกษาวิจัยในการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวทดแทนการสารเคมีหรือใช้ในการควบคุมโรคข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ หรือเป็นแนวทางการวิจัยในเรื่องการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces* ชนิดอื่นในการควบคุมโรคข้าวที่สำคัญต่อไป

จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถยับยั้งการเจริญและการเข้าทำลายของเชื้อราโรคเมล็ดด่างของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชี้ให้เห็นว่าเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สามารถสร้างสารปฏิชีวนะที่ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคข้าวได้ สารสำคัญที่มี

รายงานจากเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ได้แก่ทราทีโนไพโรน (tratenopyrone) วอทมิน (wortmin) และมีโซ-1,4-บิส(4-เมทโทซี่เบนซิล)-2,3-บิวเทนไดออล (meso-1,4-bis(4-methoxybenzyl)-2,3-butanediol) (Buttachon *et al*., 2016; Dethoup *et al*., 2018)

อย่างไรก็ตามการฉีดพ่นด้วยสารสกัดมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเมล็ดด่างได้ดีกว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ในสภาพแปลงปลูกข้าว กข57 ทั้งแบบนาดำและนาหว่าน ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารสกัดเมื่อตกลงบนข้าวสามารถแสดงคุณสมบัติปฏิปักษ์ออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคบนผิวใบได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่การฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยสปอร์ต้องการเวลาในการงอกและเจริญบนผิวใบก่อนการแสดงคุณสมบัติปฏิปักษ์ยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรค รวมทั้งอาจได้รับผลกระทบทั้งแสงแดดและฝนต่อปริมาณเชื้อบนผิวใบ

นอกจากนี้ยังพบว่าการผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ในผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ไม่ส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเมล็ดด่าง ขณะที่การใส่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ในสารสกัดกลับเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเมล็ดด่าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารคาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส มีผลต่อการงอกหรือการเจริญของเชื้อบนผิวใบ ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์หรือสูตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชต่อไป

มีรายงานจำนวนน้อยที่ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวในแปลงปลูก นอกเหนือจากการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในการควบคุมโรคข้าวที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 8 โดย Wang *et al*., (2013) รายงานการฉีดพ่นเชื้อรา *Chaetomium aureum* ที่แยกได้ดินบริเวณรากข้าว สามารถลดการเกิดโรคกาบใบแห้งของข้าวได้ 57.81 เปอร์เซ็นต์ และโรคไหม้ข้าวได้ 66.07 เปอร์เซ็นต์ ในแปลงปลูกของข้าวพันธุ์ R-Tha11 ในขณะที่ Jantasorn *et al*., (2025) รายงานว่าการใช้ผงพร้อมใช้ของเชื้อรา *T. flavus* Bodhi001 100 กรัมต่อดินปลูกข้าว 5 กิโลกรัม สามารถลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลในดินเค็มและเพิ่มผลผลิตของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อทดสอบในกระถาง

ในทางกลับกันมีรายงานประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวจำนวนมาก เช่น Law *et al*., (2017) พบว่าการแช่รากต้นกล้าข้าวในสารแขวนลอยของเชื้อ *Streptomyces* สามารถลดการเกิดโรคไหม้ข้าวได้ 88.3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Tokpah *et al*., (2016) รายงานว่าการฉีดพ่นเชื้อ *Bacillus cereus* สายพันธุ์ H-S in 24 และ D-L in 76 สามารถลดการเกิดโรคไหม้ข้าวได้ 77.5 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อฉีดพ่นภายใต้สภาพแปลงปลูก และ Xu *et al*., (2017) พบว่าการฉีดพ่นเชื้อ *Streptomyces endus* OsiSh-2 ที่ความเข้มข้น 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคไหม้ข้าวได้ 59.64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นภายใต้สภาพแปลงปลูก ขณะที่ Raghu *et al*., (2020) พบว่าการคลุกเมล็ดข้าวพันธุ์ Nua Sughand Dhan-3 ด้วย *B. subtilis* MH257586 สามารถช่วยลดการสูญเสียผลผลิตและเพิ่มคุณภาพของผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.0001$) โดยช่วยเพิ่มการงอกเป็น 90.67 เปอร์เซ็นต์ ความสูงต้น 30.68 เซนติเมตร ความแข็งแรงของต้นกล้า 2781.96 ซึ่งมากกว่าผลการทดลองในชุดควบคุมและเพิ่มกิจกรรมของเอมไซม์ที่ช่วยในการชักนำความต้านทานในข้าว

Tu *et al*., (2024) รายงานว่าการคลุกเมล็ดข้าวพันธุ์ Tainan11 ก่อนปลูกด้วยเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* LS123N สามารถลดการเกิดโรคขอบใบไหม้ โรคไหม้ โรคถอดฝักดาบและโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ โดยสามารถควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาลได้สูงสุดที่ 78 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งเพิ่มผลผลิตของข้าวได้ 17 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Amrith *et al*., (2025) พบว่าเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. licheniformis* (B33) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่าง *Curvularia* sp., *Bipolaris* sp., *Fusarium* sp., *Fusarium moniliforme* และ *Microdochium fisheri* ได้ 57.29–66.50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบโดยวิธีเลี้ยงคู่กัน และ Johnson *et al*., (2025) รายงานว่าเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* UD1022 สามารถสร้างสารที่ระเหยได้มีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของสปอร์และการสร้างแอพเพรสโซเรียมของเชื้อรา *P. oryzae* โดยเมื่อแช่รากต้นกล้าข้าวอายุ 14 วัน ในเซลล์ *B. subtilis* ก่อนปลูก พบว่าสามารถลดความรุนแรงของโรคไหม้เหลือเพียง 10.24 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลในชุดควบคุมที่มีความรุนแรงของโรค 61.39 เปอร์เซ็นต์

มีรายงานการศึกษาวิจัยในการควบคุมโรคมะม่วงโดยชีววิธี โดยส่วนใหญ่จะเน้นการชุบผลในเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ปฏิปักษ์ เช่น Prasad *et al*., (2024) รายงานประสิทธิภาพของยีสต์ *Debaryomyces hansenii* แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas fluorescens* ในการควบคุมโรคมะม่วงกับมะม่วงพันธุ์ Amrapali โดยพบว่าการชุบผลมะม่วงในยีสต์ *D. hansenii* ที่ความเข้มข้น 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรสามารถลดขนาดแผลที่เกิดจากเชื้อรา *C. gloeosporioides* และ *Botryodiplodia theobromae* จากขนาดแผลในชุดควบคุม 10.6 มิลลิเมตร และ 13.4ตารางมิลลิเมตร ที่ปลูกเชื้อด้วยเชื้อรา *C. gloeosporioides* และ *Botryodiplodia theobromae* ตามลำดับ ลดขนาดแผลเหลือเพียง 1.5 มิลลิเมตร และ 1.9 มิลลิเมตร ตามลำดับ

Jin *et al*., (2020) รายงานเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* HN-2 สร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบาซิลโลมัยซิน ดี (bacillomycin D) มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* โดยสารนี้ทำให้เส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืชผิดรูป บิดเบี้ยว ผนังเซลล์และพลาสมา เมมเบรนแตกออกทำให้สารที่อยู่ในเซลล์ไหลออกมา ขณะที่ Yang *et al*., (2021) รายงานว่าน้ำเลี้ยงเชื้อของ *B. amyloliquefaciens* สามารถยับยั้งการเกิดโรคขั้วเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *L. theobromae* ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อทดสอบแบบชุบผล และ Evangelista-Martínez *et al*., (2022) รายงานว่าน้ำเลี้ยงเชื้อของ *Streptomyces* sp. AGS-58 มีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของสปอร์และยับยั้งการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อรา *C. siamense* ได้ มีเพียงรายงานของ Alberto Tuão Gava *et al*., (2021) ที่มีการฉีดพ่นยีสต์ *Saccharomyces* sp. ESA45 และ *Pichia kudriavzeviii* CMIAT171 ในแปลงปลูกมะม่วงพันธุ์ “Kent” และ “Palmer” ในช่วงที่ผลอ่อน พบว่าสามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *L. theobromae* และ *Neofusicoccum parvum* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาวิจัยชี้ให้เห็นว่าเชื้อรา *Talaromyces* จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคข้าวแลไม้ผลที่แตกต่างกันโดยขึ้นกับวิธีการใช้ พันธุ์ข้าวและมะม่วงที่ใช้ทดสอบ รวมทั้งสภาวะแวดล้อมของแปลงที่ทดสอบซึ่งสามารถใช้ข้อมูลเป็นแนวทางการศึกษาวิจัย

ในการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคทดแทนการสารเคมีหรือใช้ในการควบคุมโรคข้าวและไม้ผลในระบบเกษตรอินทรีย์ หรือเป็นแนวทางการวิจัยในเรื่องการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces* ชนิดอื่นในการควบคุมโรคพืชที่สำคัญต่อไป

อย่างไรก็ตามการควบคุมโรคพืชควรใช้หลายวิธีร่วมกัน โดยการป้องกันการเกิดโรคจะดีกว่าการกำจัดโรคพืช โดยต้องทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคทั้งพันธุ์พืชที่อ่อนแอ สายพันธุ์เชื้อสาเหตุโรคที่รุนแรงและสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้เกิดโรคพืช ดังรายละเอียดในบทที่ 1 เพื่อจะได้หยุดยั้งวัฏจักรการเกิดโรคพืช ซึ่งควรเริ่มตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูก เก็บเศษซากพืชออก ไถตากดิน ใช้เมล็ดพันธุ์ที่สะอาดหรือปลูกพันธุ์ต้านทาน เป็นต้น ไม่ควรปลูกพืชหนาแน่น ในกรณีที่เป็นไม้ผลควรปลูกตัดแต่งกิ่งให้โปร่ง เก็บผลที่เป็นโรคออกจากแปลง เป็นต้น ในระหว่างการเก็บเกี่ยวผล เช่น มะม่วง ทุเรียนต้องไม่ให้ผลสัมผัสกับดิน โดยใส่ในภาชนะตะกร้าพลาสติกหรือเข่งโดยตรง รวมทั้งการขนย้ายจะต้องระมัดระวังการเกิดบาดแผลบนผล เป็นต้น ซึ่งบาดแผลจะเป็นช่องเปิดให้เชื้อราสาเหตุโรคที่อยู่บนผิวผลสามารถเข้าทำลายผลโดยง่าย

9.5 บทสรุป

เชื้อรา *Talaromyces* จัดอยู่ในชั้น Eurotiomycetes มีการสืบพันธุ์แบบใช้เพศโดยการสร้างแอสโคสปอร์ที่มีผนังหนาและมีการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศโดยสร้างสปอร์หรือโคนิเดีย เชื้อรา *Talaromyces* สามารถสร้างกลไกปฏิปักษ์ยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หลายกลไกทั้งการแข่งขันเพื่อแย่งที่อยู่และสารอาหาร สร้างเอนไซม์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ และมีสภาวะของการเป็นปรสิต ปัจจุบันมีรายงานเชื้อรา *Talaromyces* รวม 6 ชนิดได้แก่ *T. assiutensis*, *T. flavus*, *T. pinophilus*, *T. omanensis*, *T. tratensis* และ *T. variabilis* เป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชและควบคุมโรคพืชที่สำคัญ

จากการศึกษาวิจัยชี้ให้เห็นว่าเชื้อราปฏิปักษ์จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคข้าวที่แตกต่างกันโดยขึ้นกับวิธีการใช้ พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบรวมทั้งสภาวะแวดล้อมของแปลงที่ทดสอบ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการฉีดพ่นสารแขวนลอย

สปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรสามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ 63.15 และ 78.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการฉีดพ่น 1 และ 2 ครั้ง ตามลำดับ ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดเอทิล อะซีเตตที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม รวม 2 ครั้ง สามารถลดการเกิดโรคได้สูงสุด 61.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบในแปลงปลูก

ในขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดและผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำสามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างของข้าวกข57 ได้น้อยกว่าการทดลองการควบคุมโรคเมล็ดด่างในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยพบว่าการฉีดพ่นสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส สามารถลดการเกิดโรคได้ 48.16 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การฉีดพ่นผงเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (10 กรัมต่อ น้ำ 1 ลิตร) ไม่ผสมและผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลสและสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และสามารถลดการเกิดโรคเมล็ดด่างได้ 45-46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ในแปลงนาหว่าน ซึ่งให้ผลการทดลองไกล้เคียงกันทั้งในการทดสอบในแปลงนาหว่านและนาดำ

การฉีดพ่นต้นข้าวด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ของเชื้อราที่ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอ ในช่วงพบโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวกข57 ในแปลงปลูก 5-10 เปอร์เซ็นต์ และฉีดพ่นอีกครั้งหลังจากฉีดครั้งแรก 14 วัน สามารถลดการเกิดโรคใบจุดสีน้ำตาลได้ 45.04 และ 52.47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อการฉีดพ่น 1 และ 2 ครั้ง ขณะที่การฉีดพ่นสารสกัดของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม และสารแขวนลอยสปอร์ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคใบไหม้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ต่ำที่ 35.83 และ 35.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถึงแม้จะฉีดพ่น 2 ครั้ง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ในการควบคุมโรคไม้ผล การชุบผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองและน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20

สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรคโนสได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาได้แก่การชุบผลมะม่วงในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และไม่ผสมสารจับใบ แสดงว่าการใส่สารจับใบช่วยเสริมประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การฉีดพ่นสารสกัดเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 ที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 รวม 3 ครั้งใน ระยะออกดอก ระยะสร้างผล และระยะไข่ไก่ ตามด้วยการห่อด้วยกระดาษห่อผลสามารถลดการเกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ 61-66 เปอร์เซ็นต์ ในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4

นอกจากนี้ยังพบว่าสารแขวนลอยสปอร์และสารสกัดเอทิล อะซีเตตของเชื้อรา *T. tratensis* KUFA 0091 สามารถควบคุมโรคผลเน่าหลังการเก็บเกี่ยวของทุเรียนที่เกิดจากเชื้อรา *L. theobromae* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการชุบผลในสารสกัดเชื้อราที่ความเข้มข้น 10,000 พีพีเอ็ม ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส ลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการชุบผลทุเรียนในผงเชื้อราผสมน้ำที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตรผสม 1 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส และ 1 เปอร์เซ็นต์ ทวีน 20 ลดการเกิดโรคได้ 51-54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางการศึกษาในการประยุกต์ใช้เชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคข้าวและไม้ผลทดแทนการใช้สารเคมีหรือใช้ในการควบคุมโรคข้าวและไม้ผลในระบบเกษตรอินทรีย์ หรือเป็นแนวทางการวิจัยในเรื่องการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Talaromyces* ชนิดอื่นในการควบคุมโรคพืชที่สำคัญต่อไป

9.6 เอกสารอ้างอิง

ทวีศักดิ์ แสงอุดม และ วรางคณา มากกำไร. 2561. การผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 74 หน้า

ธิดา เดชฮวบ. 2559. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช. บริษัท เอเชีย ดิจิทัล การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 195 หน้า.

ธิดา เดชฮวบ และ ชุติมา แก้วกระจาย. 2567. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาชีวภัณฑ์ราและยีสต์ทะเลปฏิปักษ์ชนิดใหม่ ในการควบคุมโรคของมะม่วงและทุเรียน. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.), กรุงเทพมหานคร. 101 หน้า.

ธิดา เดชฮวบ อารมณ์ จันทะสอน และ ชุติมา แก้วกระจาย. 2564. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยเรื่อง การควบคุมโรคเมล็ดด่างของข้าวโดยราปฏิปักษ์ศักยภาพสูง *Talaromyces tratensis* KUFA 0091. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), กรุงเทพมหานคร. 61 หน้า.

เศรษฐกิจการค้าภูมิภาค กระทรวงพาณิชย์. 2568. แหล่งที่มา: https://mukdahan.moc.go.th/th/file/get/file/202404197d71ae0ecb2980a30ba50da2eb10232c151554.pdf วันที่สืบค้น 2 มิถุนายน 2569.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568. รายละเอียดการปลูกมะม่วง. แหล่งที่มา: https://www.oae.go.th/view/1. วันที่สืบค้น 25 มีนาคม 2569.

Abbas, A., Fu, Y., Qu, Z., Zhao, H., Sun, Y., Lin, Y., Xie, J., Cheng, J. and Jiang, D. 2021. Isolation and evaluation of the biocontrol potential of *Talaromyces* spp. against rice sheath blight guided by soil microbiome. Environmental Microbiology 23: 5946–5961.

Abdel-Rahim, I.R. and Abo-Elyousr, K.A.M. 2018. *Talaromyces pinophilus* strain AUN-1 as a novel mycoparasite of *Botrytis cinerea*, the pathogen of onion scape and umbel blights. Microbiological Research 212-213: 1–9.

Alberto Tuão Gava, C., Araújo Pereira, C., Fernnanda de Souza Tavares, P. and Domingos da Paz, C. 2022. Applying antagonist yeast strains to control mango decay caused by *Lasiodiplodia theobromae* and *Neofusicoccum parvum.* Biological Control 170: 104912.

Amrith, P.K., Surendran, M. and Radhakrishnan, N.V. 2025. *Bacillus licheniformis* and commercial fungicides exhibit high potential against major pathogens inciting grain discolouration disease in rice, *Oryza sativa* L. Indian Phytopathology 78: 243–251.

Bahramian, D., Naraghi, L. and Heydari, A. 2016. Effectiveness of the chemical stabilizers of *Talaromyces flavus* in biological control of tomato and greenhouse cucumber vascular wilt disease. Journal of Plant Protection Research 56(3): 291–297.

Buttachon, S., May Zin, W.W., Dethoup, T., Gales, L., Pereira, J.A., Silva, A.M.S. and Kijjoa, A. 2016. Secondary metabolites from the culture of the marine sponge-associated fungi *Talaromyces tratensis* and *Sporidesmium circinophorum*. Planta Medica 82: 888–896.

Chalearmsrimuang, T., Ismail, S.I., Mazlan, N., Suasaard, S. and Dethoup, T. 2019. Marine-derived fungi: a promising source of halo tolerant biological control agents against plant pathogenic fungi. Journal of Pure and Applied Microbiology 13: 209–223.

Dethoup, T., Jantasorn, A. and Kaewsalong, N. 2022. Efficacy of the antagonistic fungus *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 in controlling rice blast and brown leaf spot diseases in field trials. Agriculture and Natural Resources 56(4): 697–704

Dethoup, T., Kaewkrajay, C. and Nujthet, Y. 2024. Field efficacy in controlling mango diseases of antagonist *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 in fresh and dry formulations. European Journal of Plant Pathology 169(3): 569–580.

Dethoup, T., Kaewsalong, N., Songkumorn, P. and Jantasorn, A. 2018. Potential of a marine-derived species, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. Biological Control 119: 1–6.

Evangelista-Martínez, Z., Ek-Cen, A., Torres-Calzada, C. and Uc-Várguez, A. 2022. Potential of *Streptomyces* sp. strain AGS-58 in controlling anthracnose-causing *Colletotrichum siamense* from post-harvest mango fruits. Journal of Plant Pathology 104(2): 553–563.

Fahima, T., Madi, L. and Henis, Y. 1992. Ultrastructure and germinability of *Verticillium dahliae* microsclerotia parasitized by *Talaromyces flavus* on agar medium and in treated soil. Biocontrol Science and Technology 2(1): 69–78.

Fravel, D.R., Lewis, J.A. and Chittams, J.L. 1995. Alginate prill formulations of *Talaromyces flavus* with organic carriers for biocontrol of *Verticillium dahlia*. Phytopathology 85(2): 165–168.

Halo, B.A., Al-Yahyai, R.A., Maharachchikumbura, S.S.N. and Al-Sadi, A.M. 2019. *Talaromyces variabilis* interferes with *Pythium aphanidermatum* growth and suppresses *Pythium*-induced damping-off of cucumbers and tomatoes. Scientific Reports 9: 11255.

Jantasorn, A., Oiuphisittraiwat, T. and Wangsawang, S. 2025. Application of ready-to-use dry-powder formulation of *Talaromyces flavus* Bodhi001 against rice brown leaf spot disease and to promote the yield components of rice in saline-alkaline soils. European Journal of Plant Pathology 172: 185–196.

Jin, P., Wang, H., Tan, Z., Xuan, Z., Dahar, D.Y., Li, Q.X., Miao, W. and Liu, W. 2020. Antifungal mechanism of bacillomycin D from *Bacillus velezensis* HN-2 against *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Pesticide Biochemistry and Physiology 163: 102–107.

Johnson, T., Kemmerer, L., Garcia, N. and Fernandez, J. 2025. *Bacillus subtilis* strain UD1022 as a biocontrol agent against *Magnaporthe oryzae*, the rice blast pathogen. Microbiology Spectrum 11: e00797-25.

Kakvan, N., Heydari, A., Zamanizadeh, H.R., Rezaee, S. and Naraghi, L. 2013. Development of new bioformulations using *Trichoderma* and *Talaromyces* fungal antagonists for biological control of sugar beet damping-off disease. Crop Protection 53: 80–84.

Kazerooni, E.A., Rethinasamy, V. and Al-Sadi, A.M. 2019. *Talaromyces pinophilus* inhibits *Pythium* and Rhizoctonia-induced damping-off of cucumber. Journal of Plant Pathology 101(2): 377–383.

Klaram, R., Jantasorn, A. and Dethoup, T. 2022. Efficacy of marine antagonist *Trichoderma* spp. as halo-tolerant biofungicide in controlling rice diseases and yield improvement. Biological Control 172: 10498

Koch, E. 1999. Evaluation of commercial products for microbial control of soil-borne plant diseases. Crop Protection 18(2): 119–125.

Law, J.W., Ser, H.-L., Khan, T.M., Chuah, L.-H., Pusparajah, P., Chan, K.-G., Goh, B.-H. and Lee, L.-H. 2017. The potential of *Streptomyces* as biocontrol agents against the rice blast fungus, *Magnaporthe oryzae* (*Pyricularia oryzae*). Frontiers in Microbiology 8: 3.

Li, P., Wei, F., Feng, H., Zhao, L., Zhang, Y., Zhou, J., Feng, Z. and Zhu, H. 2025. *Talaromyces purpureogenus* CEF642N as a promising biocontrol agent for cotton disease control. Journal of Agricultural and Food Chemistry 73(5): 2760–2772.

Madden, L.V., Hughes, G. and van den Bosch, F. 2007. The study of plant disease epidemics. American Phytopathological Society, St Paul. 471 p.

Miyake, T., Kato, A., Tateishi, H., Teraoka, T. and Arie, T. 2012. Mode of action of *Talaromyces* sp. KNB422, a biocontrol agent against rice seedling diseases. Journal of Pesticide Science 37: 56–61.

Naraghi, L. and Negahban, M. 2019. Biological control of cotton verticillium wilt by nanoformulations containing *Talaromyces flavus*. EurAsian Journal of BioSciences 13(2): 1177–1185.

Naraghi, L., Heydari, A., Rezaee, S. and Razavi, M. 2012. Biocontrol agent *Talaromyces flavus* stimulates the growth of cotton and potato. Journal of Plant Growth Regulation 31: 471–477.

Prasad, K., Sharma, R.R., Asrey, R., Singh, D., Lal, M.K., Nishad, J., Tiwari, R.K., Sethi, S., Srivastav, M., Arora, A. and Kumar, R. 2024. Mitigating postharvest quantitative and qualitative losses in mango fruits through the application of biocontrol agents: An in-vivo and in-vitro assessment. Heliyon 10(7): e28758.

Raghu, S., Baite, M.S., Patil, N.B., Sanghamitra, P., Yadav, M.K., Prabhukarthikeyan, S.R., Keerthana, U., Pandi, G., Aravindan, S. and Rath, P.C. 2020. Grain discoloration in popular rice varieties (*Oryza sativa* L) in eastern India, associated mycoflora, quality losses and management using selected biocontrol agents. Journal of Stored Products Research 88: 101682.

Suasa-ard, S., Eakjamnong, W. and Dethoup, T. 2019. A novel biological control agent against postharvest mango disease caused by *Lasiodioplodia theobromae*. European Journal of Plant Pathology 155(2): 583–592.

Sui, L., Lu, Y., Cheng, K., Tian, Y., Liu, Z., Xie, Z., Zhang, Z. and Li, Q. 2025. A strain of *Talaromyces assiutensis* provides multiple protection effects against insect pests and a fungal pathogen after endophytic settlement in soybean plants. Biological Control 201: 105703.

Thambugala, K.M., Daranagama, D.A., Phillips, A.J.L, Kannangara, S.D. and Promputtha, I. 2020. Fungi vs. fungi in biocontrol: an overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology 10: 604923.

Tian, Y., Fu, X., Yan, X., Li, Y., Peng, H. and Gao, K. 2022. The control efficacy and mechanism of *Talaromyces purpurogenus* on Fusarium wilt of bitter gourd. Biological Control 165: 104804.

Tokpah, D.P., Li, H., Wang, L., Liu, X., Mulbah, O.S. and Liu, H. 2016. An assessment system for screening effective bacteria as biological control agents against *Magnaporthe grisea* on rice. Biological Control 103: 21–29.

Tu, C.-K., Huang, W.-D., Wang, P.-H., Lin, W.-L., Chen, H.-Y., Rau, S.-T., Chang, T.-C., Young, L.-S., Wang, C.-L. and Lee, M.-H. 2024. The rice endophytic bacterium *Bacillus velezensis* LS123N provides protection against multiple pathogens and enhances rice resistance to wind with increase in yield. Biological Control 192: 105507.

Wang, Y.L., Liu, S.Y., Mao, X.Q., Zhang, Z., Jiang, H., Chai, R.Y., Qiu, H.P., Wang, J.Y., Du, X.F., Li, B. and Sun, G.C. 2013. Identification and characterization of rhizosphere fungal strain MF-91 antagonistic to rice blast and sheath blight pathogens. Journal of Applied Microbiology 114: 1480–1490

Xu, T., Li, Y., Zeng, X., Yang, X., Yang, Y. and Zhu, Y. 2017. Isolation and evaluation of endophytic *Streptomyces endus* OsiSh-2 with potential application for biocontrol of rice blast disease. Journal of the Science of Food and Agriculture 97(4): 1149–1157.

Yang, Y., Dong, G., Wang, M., Xian, X., Wang, J. and Liang, X. 2021. Multifungicide resistance profiles and biocontrol in *Lasiodiplodia theobromae* from mango fields. Crop Protection 145: 105611.

ดัชนี

1

1,2,4-thiadiazole 160
1,8-dihydroxynaphthalene 177

3

3′,5′-cyclic adenosine monophosphate 9
3′,5′-ไซคลิก อะดีโนซีน โมโนฟอสเฟต 9

6

6-n-pentyl-2H-pyran-2-one 198
6-เอ็น-เพนทิล-2เอช-ไพแรน-2-วัน 198, 289

A

A. rolfsii 118, 119, 160
acervulus 63
acibenzolar-S-methyl 178
adenosine deaminase 136
adenosine triphosphate 21
aeciopores 103
aecium 104
Agroathelia 113, 117, 118, 119, 146, 147, 160, 232, 237
Albugo candida 21
Alternaria ... 20, 68, 70, 71, 72, 90, 95, 96, 140, 146, 149, 156, 157, 171, 172, 175, 184, 186, 187, 198, 215, 216, 217, 218, 232, 240, 257, 309, 313
alternate host 7
amino acid 7
amisulbrom 150
Ampelomyces quisqualis 65, 68
anthracnose 25
apoplastic effector 14, 15
appressorium 8, 12, 155, 177, 196
aromatic hydrocarbon 159
Ascomycetes 61, 64, 68, 95, 138, 143, 146, 148
Ascomycota 61, 62, 63, 64, 66, 69, 71, 73, 75, 79, 83, 86, 92, 229, 304
ascospore 61
ascus 61
ATP synthase 144
attachment 5
autoecious rust 103, 123
azoxystrobin 76

B

Bacillus 94, 161, 180, 355, 356
basal stem rot 25
Basidiomycetes 102, 107, 113, 123, 143
Basidiomycota 31, 92, 102, 104, 108, 111, 113, 115, 118, 120, 124, 168
basidiospore 12
basidium 103
benomyl 85
benthiavalicarb 176
benzimidazole 133
benzothiadiazole 178
biotroph 3
biphenyl 160
Bipolaris oryzae .. 77, 78, 90, 96, 140, 149, 169, 171, 172, 185, 195, 217, 218, 249, 257, 263, 306, 309
Blumeria graminis 23, 155
Bordeaux mixture 50
boscalid 146
Botrytis 20, 21, 141, 142, 146, 151, 152, 156, 157, 169, 174, 197, 202, 231, 237, 304, 308, 361
Botrytis cinerea 21, 141, 167, 169, 174, 189, 197, 202, 226, 231, 237, 300, 304, 308

C

C. gloeosporioides 83, 84, 85, 96, 236, 332, 356, 357

C. lunata 258, 262, 264, 311
C14 demethylase 169
canker 24
Capnodium spp. 69, 95
carbamate 133
carbamates 160
carbedazim 77
carbendazim 139
carboxin 107
carboxylic acid amides 158
carpropamid 178
cell wall 19, 20
cellulose 175, 198
cellulose synthase 175, 176
chitin synthase 175
chlamydospore 45, 87, 115
chloroneb 160
chloropicrin 54
chlozolinate 156
cinnamic acid amides 176
Cladosporium spp. 69, 95
Colletotrichum 22, 24, 62, 82, 83, 85, 96, 140, 147, 149, 157, 161, 169, 171, 172, 177, 184, 186, 187, 201, 217, 218, 231, 237, 267, 330
Colletotrichum gloeosporioides 22, 85, 140, 149, 157, 171, 172, 184, 186, 231, 329, 330
colonization 5
conidium 61
copper hydroxide 90
copper oxychloride 46
Corynespora cassiicola 231, 267, 272
cross resistance 135, 155
curative activity 99, 217
Curvularia lunata 90, 91, 96, 140, 149, 171, 172, 257, 263, 309, 313
cyflufenamid 182
cyproconazole 106
cytochrome bc_1 182
cytochrome c1 147
cytoplasmic effector 14, 15

D

damping-off 25, 56, 362, 363
diclocymet 178
dicloran 160
difenoconazole 76, 129
dikaryotic mycelium 104
dikaryotic spore 104
dimethachlone 156
dimethomorph 176
discrete resistance 133
dissemination 5
Dithiocarbamates 132
dithiocarbomate 74
dithiolanes 159
dodemorph 174
dodine 182
downy mildew 35, 57, 60, 225, 297, 299

E

edifenphos 159
epoxyconazole 77
eradicative activity 217, 218
ergosterol 19
Erysiphe necator 100, 155, 167, 231
ethirimol 155
ethylene 189
etridiazole 160
eukaryote 19
Exserohilum turcicum 75, 96, 186, 277, 279

F

F. incarnatum 89, 311
F. mangiferea 89
F. semitectum 258, 262, 264
F. solani 88, 89, 199
false smut 92, 297
famoxadone 148
fengycin 161
fenhexamid 174

fenoxanil....178
fenpiclonil....156
fenpropimorph....173
flagellum....138
fluazinum....151
fludioxonil....156
flumorph....176
fluopicolide....142
fluopyram....68
flusilazole....171
flutianil....182
fruiting body....16
fthalide....177
fuberidazole....139
Fungi imperfecti....63, 64
Fungicide Resistance Action Committee....133
Fusarium.23, 24, 59, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 96, 137, 139, 140, 143, 147, 149, 160, 169, 171, 172, 186, 199, 201, 231, 232, 236, 237, 240, 257, 263, 306, 309, 313, 353, 356
Fusarium graminearum....23, 24, 139, 143

G

G. boninense....120, 121
gall....25, 108
gamete....51, 103
Ganoderma....113, 120, 121, 124
germ tube....8
glycerol....9
glycoside....21, 23, 239
G-protein....9, 10, 154

H

haustorium....8
heat treatment method....202, 222
Hemileia vastatrix....102, 146, 184
heteroecious rust....103, 123
hexaconazole....90
high risk fungicides....132
histidine kinase....155
hydathode....13
hydrophobin....196
hymexazol....90
hyperparasitism....192

I

imazalil....85
Induced Systemic Resistance....238
inoculum....5
invasive hyphae....14, 15
iprobenfos....159
iprovalicarb....176
isoflavone....11
isoprothiolane....159
isotianil....180

J

jasmonic acid....201

K

kasugamycin hydrochloride hydrate....129
keto reductase....174

L

L. theobromae....306, 307, 329, 346, 357, 360
Laminaria digitata....180
laminarin....180
*Lasiodiplodia theobromae*147, 306, 307, 329, 330, 331, 361, 365
latent infection....82
lecithin....8
lenticel....13
lignin....39
lignocellulose....197
lipopeptide....161
low risk fungicides....132

M

macroconidium....87

Magnaporthe grisea 364
mandelic acid amides 176
mandipropamid 176
medium risk fungicides 132
melanin 177
metabolism 134
metalaxyl 43, 129
methyl benzimidazole carbamates 139
methyltransferase 159
microconidia 86
microcylic rust 103, 123
microtubule 138
mitogen-activated protein kinases 9
monogenic resistance 133
morpholines 174
Mucoromycetes 31
multi-site fungicide 129
multi-step resistance 132
mutation 129
mycorrhiza 194
Mycosarcoma maydis 108, 110

N

narrow spot 24
natural infection 219, 319
necrotroph 4
nonobligate parasite 4
nucleic acid 134

O

obligate parasites 3
one fugnus one name 62
oogonium 37
Oomycetes 12, 16, 19, 31, 32, 35, 36, 41, 42, 55, 134, 135, 138, 139, 142, 146, 148, 160, 161, 175, 176, 181, 197
oospore 17
oxpoconazole 169

P

P. graminis 32, 102, 103
P. graminis f.sp. *hordei* 103
P. palmivora 40, 216, 267, 268, 269, 270, 271, 273, 276, 289, 306
P. polysora 102, 104
P. sorghi 102, 104
parasitism 3
pathogenicity 3
pectin lyase 11
penconazole 170
pencycuron 117
perithecium 63
Peronospora 35, 47, 48, 137, 181, 184, 186, 187
Peronosporaceae 46
Peronosporales 35, 48, 55
phenylamide 133
phenylpyrroles 155
phospholipid 158
phospholipid bilayer 19
phosphoro-thiolates 159
phosphorous acid 46
phosphorylation 9, 144, 151
photosynthesis 20
phytoalexin 11, 194, 200
Phytomyxea 31, 32, 55
Phytophthora 20, 35, 36, 40, 41, 42, 44, 45, 89, 134, 137, 142, 148, 160, 161, 175, 176, 181, 184, 186, 187, 197, 199, 202, 215, 216, 227, 231, 267, 268, 306
Phytophthora infestans ... 20, 40, 42, 137, 142, 175, 176, 182, 199, 231
picarbutrazox 182
piperidines 174
pivotal 9
plasma membrane 9
Plasmodiophora brassicae 32, 33, 55
Plasmodiophoromycetes 31, 55
plasmodium 31

Plasmopara viticola 47, 48, 49, 137, 171, 175, 182, 186, 232, 237
Podosphaera xanthii 66
polycyclic pathogen 18
polygenic..... 132
polyketide synthase..... 178
polymerase chain reaction..... 205, 222
polyoxin..... 175
polysaccharide..... 7
primary inoculum..... 6
probenazole..... 180
prochloraz..... 85
procymidone..... 157
propamocarb hydrochloride..... 161
proquinazid..... 155
protective activity..... 217
protein kinase A..... 9
Pseudocercospora fijiensis 170, 174, 184
Pseudocercospora musae..... 73, 96
Pseudoperonospora cubensis 137, 148, 176, 184
pseudosclerotium 121
Puccinia graminis f.sp. *tritici*..... 103
Puccinia horiana..... 145, 171, 172
pustule..... 105
pycnidium 63
pycniospore..... 103
pyraclostrobin 90
Pyricularia 14, 15, 68, 78, 79, 80, 96, 140, 141, 152, 172, 177, 180, 188, 200, 253, 287, 306
Pyricularia oryzae 14, 15, 79, 80, 140, 141, 152, 172, 177, 200, 306
pyrimorph..... 176
pyriofenone 143
pyroquilon..... 177
Pythiales 35, 36, 42, 55
Pythium 35, 36, 37, 38, 39, 40, 55, 114, 134, 137, 160, 161, 197, 199, 232, 235, 237, 304, 305, 308, 311
Pythium aphanidermatum 36, 38, 199, 305, 308

Q

Quinone Outside Inhibitors 133
quinoxyfen..... 155
quintozene 160

R

receptive hyphae 103
regulatory kinase..... 9
Reynoutria sachalinensis 180
Rhizoctonia.113, 114, 115, 116, 117, 140, 142, 146, 147, 149, 156, 157, 160, 169, 171, 172, 175, 182, 197, 199, 230, 231, 232, 235, 236, 237, 243, 244, 263, 304, 308, 353
Rhizoctonia solani 116, 140, 149, 157, 169, 171, 172, 175, 182, 197, 199, 230, 235, 236, 237, 243, 244, 263, 304, 308, 353
Rhizopus stolonifer..... 51, 53, 56
ribonucleic acid 23
ribosomal RNA 24
rootstock..... 41

S

salicylic acid 123, 188
saponin..... 23
saprophyte..... 4
scab..... 13, 25
Sclerotinia sclerotiorum 156, 174, 197, 198, 232, 305
sclerotium..... 6
Sclerotium rolfsii 118
secondary inoculum..... 6
semibiotroph..... 4
siderophore 196
sign 27
signal transduction..... 154
silicon..... 179
silthiofam 151
singal transduction..... 154
single-site fungicide 129

smut 25
soil plate technique..... 202, 221
sorus..... 110
spermagonium 103
spermatia..... 103
Sphaerotheca pannosa f. sp. *rosae* 67
spiroxamine 174
sporangiophore..... 42
sporangiospore..... 51
sporangium 12
Sporisorium scitamineum..... 110, 112, 149

ß

ß -glucan 11
ß-glucanase..... 11
ß-tubulin..... 138

S

sterol 158, 168
Streptomyces 152, 153, 154, 161, 175, 355, 357
suberin 39
suppressive soil..... 12
surfactant 23, 336
symptom 27
Systemic Acquired Resistance 178, 238

T

T. asperellum 122, 195, 208, 231, 232, 233, 236, 237, 238, 240, 241, 244, 245, 247, 248, 249, 250, 252, 254, 255, 256, 257, 258, 260, 263, 264, 265, 266, 268, 269, 272, 273, 275, 276, 277, 278, 281, 285, 286, 290, 291
T. assiutensis 305, 358
T. flavus..... 304, 305, 308, 352, 355, 358
T. guizhouense 198, 236, 240
T. harzianum 94, 195, 197, 208, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 237, 240, 241, 244, 245, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 260, 263, 264, 265, 266, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 281, 284, 285, 286, 287, 289, 291
T. koningii..... 94
T. longibrachiatum 231, 232, 235, 237, 238, 244, 245, 258, 260, 262, 264, 265, 268, 269
T. omanensis..... 305, 358
T. phayaoense..... 238
T. pinophilus 304, 305, 308, 358
T. reesei..... 122, 235
T. tratensis..212, 213, 215, 305, 306, 307, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 358, 359, 360
T. variabilis 305, 308, 358
T. virens.....233, 235, 237, 268, 269, 278, 287
T. viride.....231, 232, 233, 240, 244, 245, 260, 263, 264, 265, 273, 287
Talaromyces 98, 192, 194, 196, 202, 204, 205, 211, 216, 221, 224, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 326, 329, 330, 331, 341, 342, 344, 345, 352, 354, 357, 358, 359
tebuconazole..... 68
tebufloquin..... 182
tecnazene 160
teliospores..... 12
tetraconazole..... 68
tetracycline..... 154
thiabendazole..... 107
thiophanate-methyl 85
tiadinil..... 180
tissue transplanting method..... 202, 203, 204, 221
tolclofos-methyl..... 160
tolprocarb..... 178
transcription 20, 124
translaminar..... 146
translation.....20, 152, 167, 206, 208
triadimenol 169

triarimol 169
Triazoles 169
Trichoderma ... 78, 94, 122, 192, 194, 196, 198, 221, 229, 230, 231, 232, 236, 237, 238, 240, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 252, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 290, 291, 293,
tricyclazole 177
tridemorph 174
trifloxystrobin 68
triforine 76

U

uredospore 103
Ustilaginales 107, 108, 111
Ustilaginoidea virens 92, 93, 97, 246

V

validamycin 117
valifenalate 90
valinamide carbamates 176
Venturia inaequalis 170, 182
vinclozolin 156

Z

zoosporangium 34
zoospore 6
Zygomycetes 31, 51, 52, 55, 56
zygospore 51
zygote 37, 61

เ

เชื้อราไมคอร์ไรซ่า 194
เซลล์สืบพันธุ์ 103
เซลลูโลส ... 19, 21, 22, 35, 39, 55, 122, 175, 187, 197, 231, 235, 312, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 346, 347, 348, 351, 353, 355, 358, 359, 360
เซอแฟกทิน 161
เตตระโคนาโซล 68
เตตระไซคลิน 154
เทเลียม 104
เบโนมิล 85
เบซิเดียม 103
เบซิดิโอสปอร์ 103
เบต้า-กลูคาเนส 11
เบต้า-ทูบูลิน 139
เบนโซไทอะไดเอโซล 178
เบนซิมิดาโซล 139
เพนโคนาโซล 170
เพนไซคูรอน 117, 142
เพนทิโอไพแรด 68
เพอริทีเซียม 63, 94
เฟนโพรพิมอร์ฟ 173
เฟนไจซิน 161
เมแทบอลิซึม 134
เมตาแลกซิล 43, 46, 129
เมล็ดด่าง 159
เมลานิน 177, 178
เลนติเซล 13
เอเซียม 104
เอซิโอสปอร์ 103
เอ็ททริมอล 137
เอทิลีน 238
เอทีพี ซินเทส 144
เอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัม 19
เอนไซม์เอทีพี ซินเทส 150, 151
เอนไซม์ไคติน ซินเทส 175
เอนไซม์ไซลาเนส 236
เอนไซม์คิวติเนส 8
เอนไซม์ดีเอ็นเอ โทโปไอโซเมอเรส ชนิด II 138
เอนไซม์ดีไฮดราเทส 177
เอนไซม์พอลีคีไทด์ ซินเทส 178
เอนไซม์อะดีโนซีน ดีอะมิเนส 136
เออโกสเตอรอล 168
เฮกซะโคนาโซล 90, 122, 129

แ

แคงเกอร์ 24, 83, 153

แคปแตน 185
แบคทีเรีย 180
แพคติน ไซเลส 11
แฟลเจลลัม 138
แมคโครโดนิเดียม 86
แมนโคเซบ 90, 128
แวคคิวโอล 19
แอนเทอริเดียม 37
แอนแทรคโนส 17, 25, 169
แอปเปิล .. 13, 14, 19, 65, 70, 102, 154, 170, 180, 182
แอพเพรสโซเรียม 8, 9, 76
แอสโคสปอร์ 61, 64, 82, 95, 304, 358
แอสคัส 61, 62, 63, 64, 65, 66, 82, 94, 95
แฮพลอยด์ นิวเคลียส 61

โ

โคนต้นเน่า 25
โคนิเดียม 61
โคลโซลิเนท 156
โคลโรเนบ 160
โซซาไมด์ 141
โซรัส 110, 111, 112
โดดีน 182
โดดีมอร์ฟ 174
โทโพรคาร์บ 178
โทลเฟนไพแรด 145
โทลโพรคาร์บ 178
โปรตีเอส 235
โปรตีน ไคเนส เอ 9
โพรคลอราซ 85, 169
โพรบีนาโซล 180
โพรพาโมคาร์บ ไฮโดรคลอไรด์ 161
โพรพิเนบ 185
โพรพิโคนาโซล 76, 78, 94, 113, 117
โพรพิโคนาโซล + ไดฟีโนโคนาโซล 312, 316, 317, 319, 323
โพลีแซ็กคาไรด์ 7, 19
โพลีแซคคาไรด์ 180
โพลีออกซิน 175
โฟลเปต 185
โรค take-all 151
โรคเขม่าดำ 108
โรคเน่าคอดิน 150, 161
โรคเมล็ดด่าง 159, 286, 309
โรคเหี่ยว 86
โรคแอนแทรคโนส 140, 153, 169, 185, 186, 309
โรคโคนเน่า 120
โรคใบไหม้ 75, 96, 176, 325
โรคใบไหม้แผลใหญ่ 75, 96
โรคใบจุด 153
โรคใบจุดก้างปลา 267
โรคใบจุดสีน้ำตาล 77, 96, 159
โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว 77
โรคไหม้ 169, 178, 181, 253
โรคไหม้ข้าว 78, 96
โรคกาบใบแห้ง 115, 142, 159, 175
โรคดอกกระถิน 92, 93, 97
โรคถอดฝักดาบ 185
โรคราเขม่า 184
โรคราเขม่าดำ 107, 110
โรคราแป้ง 136, 184
โรครากเน่าโคนเน่า 142, 148
โรครากบวม 32
โรคราน้ำค้าง 35, 46, 136, 151, 185, 186
โรคราสนิม 104, 123, 184, 186, 238
โรคราสนิมขาว 36
โรคราสีเทา 151
โอโอโกเนียม 37
โอโอสปอร์ 17, 37, 39, 50

ใ

ใบไหม้ 20, 42, 140, 153, 160, 176
ใบขีด 24
ใบจุด 24, 139, 169
ใบจุดดำสิกะโตกา 73
ใบจุดสีน้ำตาล 249

ไ

ไกลโคโปรตีน 7
ไกลโคไซด์ 23

ไขมัน....7, 8, 9, 23, 158, 159, 163
ไคติเนส....11
ไซเดอโรฟอร์....196
ไซโกต....37
ไซโกสปอร์....51, 54, 56
ไซโทโครม ซี1....147
ไซโทโครม บีซี$_1$....147
ไซโปรโคนาโซล....106
ไซโพรโคนาโซล....122
ไซมอกซานิล....182
ไดเมโทมอร์ฟ....176
ไดเมททิริมอล....136
ไดเอ็ทโทเฟนคาร์บ....141
ไดโคลแรน....160
ไดโคลไซเมท....178
ไดไทโอคาร์บอเมต....74, 183, 185
ไดไทโอคาร์บาเมต....132
ไดคลอเบนเทียซอค....181
ไดฟีโนโคนาโซล....76, 94
ไตรโฟรีน....76
ไตรไซคลาโซล....177
ไตรฟลอกซีสโตรบิน....68
ไตรอะดิมีนอล....122, 169
ไตรอะดิมีฟอน....104, 113
ไตรอะริฟอน....104
ไทโอฟาเนต-เมทิล....85
ไทอะเบนดาโซล....107
ไบเทอร์ทานอล....169
ไบโอโทรฟ....27
ไพโรควิลอน....177
ไพราโคลสโตรบิน....90
ไพราโซฟอส....159
ไพริดาคลอเมทิล....143
ไพริฟีโนน....143
ไฟโตอเล็กซิน....11, 194
ไมโครโคนิเดียม....86
ไมโครทูบูล....138
ไมโทเจน-แอคทิเวค โปรตีน ไคเนส....9, 11
ไมโทคอนเดรีย....19, 145
ไม้ดอกไม้ประดับ....40, 137, 156
ไรโบโซมอล อาร์เอ็นเอ....24
ไหม้คอรวง....153
ไอโซโพรไทโอเลน....159
ไอโซฟลาโวน....11
ไอโพรเบนฟอส....159
ไอโพรไดโอน....78, 156, 157
ไอโพรวาลิคาร์บ....176
ไฮเมกซาโซล....90, 137, 138
ไฮโดรโฟบิน....233

ก

กรดไรโบนิวคลีอิก....23
กรดจัสโมนิก....238
กรดซาลิไซลิก....123
กรดนิวคลีอิค....134
กรดฟีนอลิก....236
กระหล่ำ....32, 34
กล้วย....73, 86, 170
กลีเซอรอล....9
ก้านชูสปอร์แรงเจียม....42
กาบใบแห้ง....114
การเข้าทำลาย....13
การเติมหมู่ฟอสเฟต....9
การกลายพันธุ์....129
การดื้อยา....153, 183
การดื้อยาข้าม....135
การยึดเกาะ....7
การสังเคราะห์แสง....102
การสังเคราะห์โปรตีน....20
การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ....136
การอยู่ข้ามฤดู....17
กำมะถัน....183, 184
กิ่งแห้ง....86
กุหลาบ....65, 66, 171, 172, 184

ข

ขอบใบแห้ง....153
ข้าว 77, 78, 81, 96, 115, 139, 140, 141, 142, 159, 178, 181, 185, 243, 246, 253, 257, 309

ข้าวโพด.....26, 35, 52, 75, 76, 83, 96, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 124, 131, 137, 143, 149, 186, 277, 278, 280, 281, 282, 285, 289, 290, 291, 292
ข้าวโอ๊ต.....23, 102
ข้าวบาร์เลย์.....102
ข้าวสาลี.....65, 102, 103, 105, 139, 151

ค

คลอโรทาโลนิล.....186
คลอโรพิริน.....54
คลอโรฟิลล์.....3, 19, 20
คอปเปอร์.....183
คอปเปอร์ ไฮดรอกไซด์.....90
คอปเปอร์ ออกซีคลอไรด์.....46
คอปเปอร์ ออกซี่คลอไรด์.....94
คาซูกาไมซิน ไฮโดรคลอไรด์ ไฮเดรต.....153
คาร์เบนดาซิม.....76, 128, 140, 325
คาร์บอกซิน.....107
คาร์บอกซี่เมทิล เซลลูโลส.....317
คาร์บอกซีลิก เอไมด์.....158
คิวติเคิล.....8, 13, 21
คุณสมบัติกำจัด.....217
คุณสมบัติป้องกัน.....217

ซ

ซัคซิเนต-ดีไฮโดรจีเนส.....146
ซัลเฟอร์.....185
ซาโปนิน.....23
ซิลิคอน.....179
ซูเบอริน.....39
ซูโดสเคลอโรเตียม.....121
ซูโอสปอร์.....6, 12, 31, 34, 37, 45, 55, 142, 175, 182
ซูโอสปอร์แรงเจียม.....34

ด

ดื้อยา.....132

ถ

ถั่วเหลือง.....185, 238
ถั่วลิสง.....185, 186

ท

ทองแดง.....183
ทอลโคลฟอส-เมทิล.....160
ทีบูโคนาโซล.....68, 170
ทีบูโฟลควิน.....182
ทุเรียน.....26, 35, 41, 44, 45, 55, 69, 86, 88, 89, 96, 113, 114, 128, 137, 141, 142, 149, 150, 172, 182, 184, 306, 309, 346, 347, 348, 349, 357, 360

น

นิวเคลียส.....19

บ

บลาสทิซิดิน-เอส.....152
บอร์โดมิกเจอร์.....50
บอสคาลิด.....146
บิวพิริเมต.....136

ป

ประเทศไทย.....129
ปาล์มน้ำมัน.....113, 120, 121

ผ

ผักบุ้ง.....36

พ

พริก.....153
พลาสโมเดียม.....31, 34
พลาสมาเมมเบรน.....9
พัสทูล.....105
พิโวทอล.....9
พิกนิเดียม.....63
พิคนิโอสปอร์.....103
พิคาร์บูทราซอกซ์.....182

พิมาริชิน....161
พืชตระกูลแตง....66
พืชอาศัยสลับ....103

ฟ

ฟทาไลด์....177
ฟลูโอไพแรม....68
ฟลูโอพิโคไลด์....142
ฟลูโอพิโมไมด์....142
ฟลูไตรเอฟอล....122
ฟลูอะซินัม....151
ฟอสเฟต....10, 24, 65, 143, 144, 150, 151, 158, 162
ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม....46, 129, 181
ฟามอกซาโดน....148
ฟีนาซาควิน....145
ฟีนาพานิล....104
ฟีนิลเอไมด์....133, 134
ฟุซิลาซอล....122

ม

มะเขือเทศ....40, 86, 114, 150, 153, 176
มะนาว....150
มะม่วง....26, 65, 69, 70, 83, 84, 85, 96, 128, 140, 149, 157, 171, 172, 184, 185, 186, 306, 307, 309, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 342, 343, 344, 345, 351, 356, 357, 359
มะละกอ....150
มันฝรั่ง....40, 150, 176, 186
มีทราฟีโนน....143

ย

ยางพารา....137, 184, 208, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 276, 285, 289, 290, 291, 292
ยูคาร์ริโอต....19
ยูรีโดสปอร์....103

ล

ลิโปเปปไทด์....161
ลิกนิน....39, 122

ว

วัฏจักรคิว....147
วาลิดามัยซิน....117, 182
วาลิฟีนาเลท....90

ส

สเคลอโรเตียม....116
สเคิลโรเตียม....6, 118
สเตร็ปโตมัยซิน....153
สเตอรอล....65, 158, 168, 169, 187
สเปอร์มาโกเนียม....103
สแคป....13, 25, 141, 149
สโตรบิลูริน....148
สตรอเบอร์รี่....65
สปอร์แรงเจียม....12
สปอร์แรงจิโอสปอร์....51
ส้ม....153
ส้มโอ....150, 185
สามเหลี่ยมโรคพืช....2
สารกระตุ้นไซโตพลาสมิก....14
สารที่เข้าทำลายเฉพาะจุด....129
สารที่มีฤทธิ์เข้าทำลายหลายจุด....129
สารลดแรงตึงผิว....336
สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ....236
สิลไทโอเฟม....151

ห

หอมแดง....175

อ

อมีทอคทราดิน....151
ออกโพโคลนาโซล....169
ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน....151
ออกซีเตตระไซคลิน....154
อ๊อกซี่คาร์บอกซิน....122
อ้อย....26, 35, 102, 107, 110, 111, 112, 113, 124, 149
ออสโมซิส....154

อะเซอวูรัส 63, 82
อะซอกซีสโตรบิน 76, 94, 113
อะซิเบนโซลาร์-เอส-เมทิล 178
อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต 21
อะมิซัลบรอม 150
อิทูริน 161
อิพิเดอร์มิส 13
อิมาซาลิล 85
อีดิเฟนฟอส 159
อีพอกซีโคนาโซล 76

ฮ

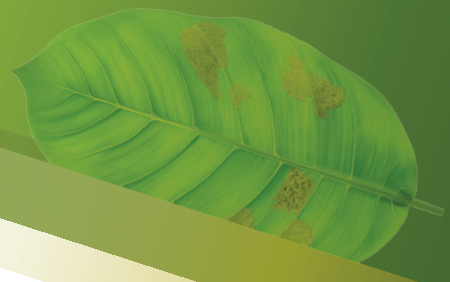
ฮอสโตเรียม 8, 14, 64

หนังสือเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นโดยปรับปรุงจากการตีพิมพ์ครั้งที่ 1 เมื่อปี พ.ศ. 2567 โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคพืชที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจ โดยปรับเนื้อหาทั้งหมดให้เป็นเนื้อหาที่ทันสมัยสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและถูกต้องตามหลักวิชาการ มีข้อมูลตั้งแต่พื้นฐานของการเกิดโรคพืช ปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคพืช โรคพืชที่เกิดจากเชื้อราที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย รวมทั้งการป้องกันกำจัดโดยการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราและเชื้อราปฏิปักษ์ ซึ่งมีรายละเอียดของการจัดกลุ่มสารเคมีตาม Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) คุณสมบัติของสารและตัวอย่างการใช้ควบคุมโรคพืชแต่ละชนิด ในส่วนของการป้องกันกำจัดโรคพืชโดยเชื้อราปฏิปักษ์ มีรายละเอียดของกลไกปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Trichoderma* และ *Talaromyces* ที่ใช้ควบคุมโรคและกรณีศึกษาในการใช้เชื้อรา *Trichoderma* และ *Talaromyces* ในการควบคุมโรคข้าวและโรคไม้ผล ซึ่งเป็นผลงานวิจัยในช่วงปี พ.ศ. 2560-2567 ในฐานะผู้เขียนเป็นหัวหน้าโครงการ ในโครงการ “การพัฒนาชีวภัณฑ์ราและยีสต์ทะเลปฏิปักษ์ชนิดใหม่ ในการควบคุมโรคของมะม่วงและทุเรียน (รหัสโครงการ N21A660498)” โครงการ “การพัฒนาชีวภัณฑ์ราชนิดใหม่ในการควบคุมโรคพืชเศรษฐกิจ (รหัสโครงการ N41A640083)” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้ในหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน นิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจ หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยมา ณ โอกาสนี้







ISBN 978-616-637-049-2