

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรคแอนแทรกโนสของมะม่วงและการป้องกันกำจัด

โรคแอนแทรกโนสของมะม่วงเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. จัดอยู่ในชั้น Deuteromycetes อันดับ Coelomycetes มีระยะ teleomorph คือ *Glomerella cingulata* (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2557) เป็นโรคที่มีความสำคัญในการผลิตมะม่วง เนื่องจากทำให้เกิดโรคได้ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต และทำให้เกิดโรคกับแทบทุกส่วนของมะม่วง การศึกษาลักษณะอาการของโรค และการแพร่ระบาด มีความจำเป็นต่อการวินิจฉัยโรค ซึ่งมีความสำคัญต่อการวางแผนป้องกันกำจัดโรค ทำให้สามารถป้องกันกำจัดโรคได้ถูกวิธี เพื่อรักษาปริมาณและคุณภาพของผลผลิต

1. อาการ

โรคแอนแทรกโนสของมะม่วงทำให้เกิดอาการเป็นจุดแผลตกค้างอยู่บนใบ กิ่ง ผล และหากมีอาการของโรครุนแรงก็จะเกิดอาการใบแห้ง ใบบิด เบี้ยว และร่วงหล่น ขอดอกแห้งไม่ติดผล การเข้าทำลายผลมะม่วงเชื้อราอาจเข้าทำลายผลอ่อนแล้วเกิดการเข้าทำลายแฝงจนกระทั่งผลสุกจึงแสดงอาการออกมา (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2557) สำหรับอาการที่ปรากฏบนส่วนต่าง ๆ ของมะม่วงจะขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในอากาศ และระยะเวลาเจริญเติบโตของมะม่วง ยงยุทธ ชำรงนิमित (2553) ได้อธิบายลักษณะอาการของโรคแอนแทรกโนสในระยะต่าง ๆ ของมะม่วง ได้แก่ ระยะกล้า ระยะต้นโต ระยะออกดอก และระยะติดผล มีรายละเอียด ดังนี้

ระยะต้นกล้า โรคแอนแทรกโนสจะเกิดขึ้นได้ทั้งที่ใบและลำต้น ใบอ่อนที่เป็นโรคนี้อาจเริ่มแสดงอาการเป็นจุดดำน้ำสีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วไป ขนาดแผลประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร ต่อมาจุดเหล่านี้จะขยายโตขึ้น บางครั้งแผลเชื่อมติดกันจนเป็นแผลใหญ่ โดยจะเห็นขอบแผลชัดเจนเป็นสีน้ำตาลเข้ม หลังจากนั้นแผลจะลุกลามไปอย่างรวดเร็วทำให้ตรงกลางแผลทะลุเป็นรูพรุน การระบาดของโรครุนแรงขึ้นหากเพาะกล้ามะม่วงแน่น และมีความชื้นในแปลงสูง ขาดการระบายของอากาศที่ดีพอ ใบจะแห้งตาย และหลุดร่วง ถ้าอาการเป็นตามขอบใบหากใบไม่ร่วง ใบก็จะห่อตัวบิดเบี้ยว แคระแกร็น นอกจากนี้เชื้อสาเหตุโรคอาจลุกลามไปยังส่วนของยอดอ่อน ทำให้ยอดอ่อนเน่าดำ ใบร่วง และต้นกล้าตายในที่สุด ระยะต้นกล้านับว่าเป็นระยะที่อันตรายต่อโรคนี้นี้มาก เพราะเป็นระยะที่ต้นมะม่วงยังอ่อนแออยู่มาก สำหรับอาการที่ลำต้นอ่อนลักษณะแผลเป็นไปตามความยาวของลำต้น หากอาการของโรครุนแรง และต้นกล้าอ่อนมาก ๆ แผลจะขยายจนกระทั่งรอบลำต้น ทำให้ต้นแห้งตาย แต่ถ้าต้นกล้าเป็นโรคเมื่อน้ำเริ่มแก่แล้ว แผลอาจจะลุกลามไปได้ไม่มากนัก จะมีลักษณะเป็นจุดแผลมีลักษณะเป็นวงรี สีดำ ยุบตัวลงไปเล็กน้อย บริเวณกลางแผลจะเห็นเม็ดสีดำ ๆ หรือสีส้มปนบ้าง เรียงเป็นวง ๆ อยู่ภายในแผล ต้นกล้าที่เป็นโรคจะอ่อนแอ เจริญเติบโตไม่เต็มที่ หรืออาจตายไปในที่สุด

ระยะต้นโต ในระยะนี้อาการจะพบมากที่สุดที่ใบ โดยเชื้อสาเหตุโรคจะเข้าทำลายรุกรานในระยะแตกใบอ่อน ใบจะแสดงอาการเป็นจุดสีน้ำตาล จุดแผลค่อนข้างกลม ขอบแผลมีสีเข้ม มีทั้ง

แผลใหญ่ และแผลเล็ก ขนาดแผลใหญ่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.5 เซนติเมตร ทำให้ใบ หักงอ บิดเบี้ยว ตรงกลางแผลแห้ง ใบใบหนึ่ง ๆ มีการทำลายเกิดเป็นจุดแผลได้ทั่วพื้นใบ ทำให้ใบเป็น รุพ-run ส่วนพื้นใบที่เหลือจะเหลือง และร่วงหล่นเร็วกว่าปกติ ภายใต้นอกจากจะเกิดที่ใบแล้วยังพบว่า เชื้อราเข้าทำลายส่วนของยอดอ่อนด้วย ทำให้ยอดอ่อนเน่าแห้งดำเช่นเดียวกับในระยะต้นกล้า

ระยะออกดอก ลักษณะอาการจะเห็นเป็นจุดสีน้ำตาลดำประปรายบนก้านช่อดอก และ ก้านดอก ต่อมาแผลจะขยายออกตามความยาวของก้านช่อดอกถ้าสภาพอากาศชื้น ทำให้ดอกฝ่อ ดอกเหี่ยว และหลุดร่วง ถ้าเป็นรุนแรงมาก ๆ จะไม่ติดผลเลย แต่ถ้าเป็นไม่รุนแรงนักก็จะทำให้ติดผล น้อยลง ในบางครั้งจะพบลักษณะอาการก้านช่อดอกไหม้ดำ และแห้งไปในที่สุด

ระยะติดผล ผลอ่อนที่ถูกเชื้อราเข้าทำลายจะทำให้เกิดอาการผลฝ่อ ผลชะงักการ เจริญเติบโต ผลสีดำคล้ำ และหลุดร่วงไป ในผลที่มีขนาดใหญ่จะพบจุดสีดำบนผลกระจายอยู่ทั่วไป รูปร่างกลมหรือรี ขนาดตั้งแต่เล็กหัวเข็มหมุดจนถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 เซนติเมตร แล้วแต่ความรุนแรงของโรค อาการบนผลที่โตแล้วอาจไม่ถึงกับทำให้ผลร่วง แต่จะพบจุดดำ ๆ บนผล แล้วแผลขยายใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมเชื้อราจะเข้าทำลายเนื้อเยื่อของผล ทำให้ผลมะม่วงมีแผลเป็นรอยบุ๋มลงไป แต่ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมอาการดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น แต่เชื้อราจะซ่อนเร้นพักตัวอยู่ที่ผิวเปลือกตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล จนกว่าผลมะม่วงจะเริ่ม สุกเชื้อโรคจึงจะเริ่มเจริญเติบโตใหม่ สำหรับอาการของโรคนี้ในผลมะม่วงหลังจากเก็บเกี่ยวจะเห็น ได้ชัดเจนกว่าขณะที่ผลอยู่บนต้น เพราะผลเริ่มสุกจะอ่อนแอต่อโรคนี้ โดยเชื้อราที่ติดมากับผลใน ลักษณะพักตัวจะเจริญอย่างรวดเร็ว เมื่อผลเริ่มสุกทำให้เกิดจุดดำ ๆ กระจายอยู่บนผล จุดดำ ๆ เหล่านี้จะขยายตัวตามการสุกของผลจนเชื่อมกันเป็นแผลใหญ่ ตรงกลางจุดมักจะมีบุ๋มลึกลงไป และมีกลุ่มสปอร์สีชมพู หรือส้มบริเวณเนื้อเยื่อที่เน่าดำ และผลมะม่วงจะเน่าดำไปเรื่อยจนหมดทั้งผล โรคแอนแทรคโนสที่เกิดขึ้นกับผลมะม่วงหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วนับเป็นปัญหาสำคัญสำหรับมะม่วง ที่ต้องการเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน และใช้เวลาในการขนส่ง หรือจำหน่ายนาน

2. การแพร่ระบาด

เชื้อราจะแพร่ระบาดด้วยสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual spore) เรียกโคนิเดีย (conidia) โดยปลิวไปกับลม และฝน ในสภาพอากาศชื้นสลัดกับอุณหภูมิสูง และมีความแห้งแล้ง เชื้อสาเหตุโรคสามารถเข้าทำลายมะม่วงได้เกือบทุกส่วนในทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ต้นกล้า ยอดอ่อน ใบอ่อน ช่อดอก ดอก ผลอ่อน จนถึงผลแก่ และผลหลังการเก็บเกี่ยว (สำนักวิจัยและพัฒนา วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2557) ในแปลงเพาะกล้าที่แน่นทึบมีความชื้น สูงในระยะแตกยอดอ่อน ทางช่อดอก และติดผลอ่อนทำให้เป็นโรคได้ง่าย สปอร์ของเชื้อราจากใบ ที่เป็นโรคจะไหลไปตามหยดน้ำลงสู่ขั้วผล แล้วกระจายไปทั่วทั้งผล ทำให้ขั้วผล และก้นผลเน่า เชื้อรา จะพักตัวในผล และทำให้ผลเน่าระยะหลังการเก็บเกี่ยว โรคแอนแทรคโนสจัดเป็นโรคที่สำคัญที่สุด ของมะม่วงในสภาพอากาศที่ร้อน และชื้น (นิพนธ์ วิสารทนนท์, 2542)

3. การป้องกันกำจัดโรคแอนแทรกโนส

การป้องกันกำจัดโรคพืชสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี (chemical control) วิธีเขตกรรม (cultural control) และวิธีฟิสิกส์ (physical control) สำหรับการป้องกันกำจัดโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงสามารถทำการป้องกันกำจัดโรคได้ตั้งแต่ในแปลงปลูก ในระยะเก็บเกี่ยว และระยะหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

3.1 การป้องกันกำจัดโรคในแปลงปลูก

การฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดเชื้อราเบนโนมิล หรือแมนโคเซบในแปลงปลูก โดยเฉพาะในช่วงออกดอกติดผลจนถึงก่อนการเก็บเกี่ยวร่วมกับป้องกันกำจัดโรคด้วยวิธีเขตกรรม (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2557) เช่น การตัดแต่งกิ่งที่ไม่แข็งแรง และมีโรคออกให้ทรงพุ่มโปร่ง อากาศถ่ายเทได้ดี ในระยะต้นกล้าควรป้องกันโดยการปลูกต้นกล้าให้ห่างกันพอประมาณ เพื่อให้ลมพัดผ่านได้สะดวก ไม่อับชื้น ตรงจุดที่ตรวจพบว่าเป็นโรคควรถอนออกก่อนที่โรคจะระบาดไปยังจุดอื่น ๆ ในการใช้สารป้องกันกำจัดโรคนี้จะต้องใช้ให้ถูกกับจังหวะการเข้าทำลายของเชื้อโรค ทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยง และช่วยให้สารเคมีมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยฉีดพ่นให้ต้นมะม่วงในช่วงที่แตกใบอ่อน พอเข้าระยะออกดอกออกผล ให้ฉีดพ่นสารป้องกันเชื้อราเป็นระยะ ตั้งแต่ระยะแทงช่อดอกไปจนถึงระยะเก็บผล โดยในช่วงเริ่มแทงช่อดอกให้ฉีดทุก ๆ สัปดาห์ ๆ ละครั้ง โดยฉีดพ่น 4 ครั้งติดต่อกัน แล้วเว้น 2 สัปดาห์ ถ้าฝนตกชุกอาจจะต้องฉีดพ่นสารเคมีถี่กว่านี้ ก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 15 วันควรฉีดพ่นสารกำจัดโรคพืชประเภทดูดซึม เช่นเบนโนมิล อีกครั้งหนึ่ง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดผลเน่าหลังเก็บเกี่ยวได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญคือควรผสมสารจับใบลงไปด้วยทุกครั้ง เพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้น (พิสุทธิ์ เอกอำนวยการ, 2563)

3.2 การป้องกันกำจัดโรคระยะการเก็บเกี่ยว และระยะหลังการเก็บเกี่ยว

พิสุทธิ์ เอกอำนวยการ (2563) ได้แนะนำการป้องกันกำจัดโรคแอนแทรกโนสในระยะการเก็บเกี่ยว เกษตรกรจะต้องเก็บผลด้วยความระมัดระวังอย่าให้ผลบอบช้ำ และให้บรรจุหีบห่อที่ระบายอากาศได้ดี อย่าบรรจุผลจนแน่นเกินไป หรือหลังจากเก็บผลมาแล้วอาจจุ่มผลลงในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส นาน 5-10 นาที

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (2557) ได้แนะนำการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวโดยการจุ่มผลมะม่วงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52-55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หรือจุ่มในสารโพรคลอราซ (prochloraz) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร โดยจุ่มแล้วยกผึ่งไว้ให้แห้ง หรือจุ่มในไทอะเบนดาโซล ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผสมกับน้ำร้อน 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แต่หากต้องการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีอาจใช้วิธีห่อผลมะม่วงในแปลงปลูก

ดัชนีการเก็บเกี่ยว และการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง

มะม่วงเพื่อการบริโภคผลสุกควรเก็บเกี่ยวเมื่อแก่ได้ที่ สำหรับช่วงอายุที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวมะม่วง มักจะนับจากจำนวนวันหลังจากดอกบานเต็มที่ อย่างไรก็ตามอายุเก็บเกี่ยวของมะม่วงอาจจะแตกต่างกันไปบ้างขึ้นอยู่กับฤดูกาล และพื้นที่ปลูก ส่วนการคัดคุณภาพหลังเก็บเกี่ยวจะใช้

ความถ่วงจำเพาะ โดยการนำมะม่วงมาลอยน้ำ ผลที่อ่อนจะลอยน้ำ ส่วนผลที่แก่จัดจะจมน้ำ (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2554)

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit คือเมื่อผลมะม่วงแก่จัด หรือเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ซึ่งอัตราการหายใจจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ อายุของผล ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเก็บรักษา และอัตราการผลิตเอทิลีน ผลมะม่วงที่มีอัตราการหายใจสูงจะเก็บรักษาได้ไม่นานเพราะมีการใช้อาหารสะสมมากทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพได้เร็ว การเปลี่ยนแปลงที่สามารถเห็นได้ชัดคือ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก มะม่วงที่อยู่ในระยะแก่จัดเมื่อเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ และมีการปรากฏของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ซึ่งมีสีเหลือง จึงทำให้เปลือกผลมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลือง ส่วนการอ่อนนุ่มของผลผลิตจะเกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุคือ สาเหตุแรกเป็นการอ่อนนุ่มเนื่องจากการสุกของผล เมื่อผลสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่าง ๆ ในผนังเซลล์ โดยเฉพาะสารประกอบเพกติน (pectin compounds) ซึ่งเปลี่ยนรูปจาก protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำไปเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งคือการอ่อนนุ่มเนื่องจากการสูญเสียน้ำผ่านทางช่องเปิดต่าง ๆ ของผล ทำให้เกิดอาการเหี่ยว และอ่อนนุ่ม (สายชล เกตุษา, 2528)

ปัญหาการต้านทานของเชื้อราต่อสารเคมี

ธรรมศักดิ์ สมมาตย์ (2543) กล่าวว่า การควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช ส่วนใหญ่จะเน้นวิธีการป้องกัน กล่าวคือทำการฉีดพ่นสารฆ่าเชื้อราก่อนที่จะปล่อยให้เกิดการระบาดของโรค หากมีการปล่อยให้ระบาดของโรค การใช้สารกลุ่มดังกล่าวควบคุมไม่ได้ผล จะต้องใช้สารที่มีคุณสมบัติในการรักษาเพื่อหยุดการลุกลามของโรคต่อไป และสารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติในการดูดซึมเข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ และการใช้สารดูดซึมนี้เองที่ก่อให้เกิดปัญหาการสร้างความต้านทานขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการนำสารชนิดดูดซึมเข้ามาใช้ในปี ค.ศ. 1970 ซึ่งก่อนหน้านั้นมีการใช้สารชนิดป้องกัน และสารประกอบทองแดงในการควบคุมโรคพืชซึ่งไม่พบปัญหาการสร้างความต้านทานต่อสารเหล่านี้ แต่หลังจากการค้นพบสารชนิดดูดซึม และนำมาใช้ในการควบคุมโรคพืช พบว่ามีข้อดีกว่าสารกลุ่มเดิม และหากโรคไม่ระบาดรุนแรงมากนักก็สามารถหยุดการลุกลามของโรคได้ ดังนั้นจึงทำให้เกษตรกรนิยมใช้สารชนิดดูดซึมนี้อย่างกว้างขวาง และบ่อยครั้งขึ้น ทำให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชมีการสร้างความต้านทานต่อสารเคมีอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 ปี นอกจากนี้ยังมีสารเคมีอีกหลายชนิดที่มีกลไกการออกฤทธิ์ทำลายที่มีความเฉพาะเจาะจง และมีความเสี่ยงสูงที่เชื้อราจะเกิดการสร้างความต้านทานต่อสารเคมีขึ้นมา

การแบ่งชนิดของสารป้องกันกำจัดเชื้อรา

สารป้องกันกำจัดโรคพืชมีการใช้แบบฉีดพ่น (foliar spray) เป็นส่วนใหญ่ แต่ก็มีสารอีกส่วนหนึ่งที่ใช้ในรูปอื่น เช่น เป็นสารคลุกเมล็ด หรือแบบอื่น ๆ เช่น การโรยเป็นแถวพร้อมปลูก การออกฤทธิ์ของสารแต่ละชนิดก็แตกต่างกัน การใช้ป้องกันกำจัดมีทั้งแบบป้องกันก่อนการเกิดโรค และหลังจากโรคเริ่มแสดงอาการแล้ว ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้การแบ่งกลุ่มสารป้องกันกำจัดโรคพืช

(classification of fungicides) จึงมีหลายรูปแบบ พิสุทธิ์ เอกอำนวยการ (2563) ได้อธิบายถึงการแบ่งกลุ่มสารป้องกันกำจัดโรคพืชแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. แบ่งตามช่องทางการเข้าสู่พืช (mobility in plant) คือสารเคมีที่ออกฤทธิ์แบบสัมผัส หรือสารเคมีที่ออกฤทธิ์แบบดูดซึม

2. แบ่งตามบทบาทในการป้องกันกำจัดในพืช สารป้องกันกำจัดโรคพืชจะใช้เพื่อป้องกันก่อนที่โรคจะปรากฏ (protective, preventive activity) หรือใช้รักษาเมื่อเริ่มพบการติดเชื้อในระยะแรกแล้ว (curative, early-infection activity) โดยปกติเชื้อโรคส่วนใหญ่ใช้เวลา 24-72 ชั่วโมงในการพัฒนาตัวหลังจากเริ่มติดเชื้อ การใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อราส่วนใหญ่จะเป็นแบบนี้ ซึ่งจะมีบทบาทแบบป้องกันไปด้วย ดังนั้นการจัดการแก้ปัญหาการต้านทานสารเคมีจึงสำคัญมาก บทบาทถัดไปคือการกำจัดให้หมดสิ้น (eradicate) และคุมไม่ให้แพร่กระจายไป (anti-sporulant activity) ซึ่งเป็นเรื่องยากที่ต้องอาศัยความรู้เรื่องการใช้สารอย่างมีประสิทธิภาพพร้อมกับปัจจัยอื่น ๆ

3. แบ่งตามความกว้างของการป้องกันกำจัด (breadth of activity) สารเคมีบางกลุ่ม เช่น สารดูดซึมมีการออกฤทธิ์เฉพาะจุดใดจุดหนึ่ง (single-site fungicides) ส่วนสารที่ออกฤทธิ์แบบสัมผัส เช่น กลุ่ม EBDC'S ได้แก่ แมนโคเซบ โพรพิเนบ ไทแรม คอปเปอร์ กำมะถัน มีการออกฤทธิ์เข้าทำลายเชื้อราหลายจุด (multi-site fungicides) ซึ่งมีข้อดีคือ มีความเสี่ยงต่ำต่อการที่เชื้อราจะสร้างความต้านทานต่อสารกลุ่มนี้

4. แบ่งตามกลไกการออกฤทธิ์ (mode of action) การเข้าทำลายของสารด้วยกลไกทางเคมีต่าง ๆ กัน เช่น รบกวนขบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อรา ได้แก่ ทำลายผนังเซลล์ รบกวนการสร้างเอนไซม์ หรือรบกวนการหายใจ

5. แบ่งตามกลุ่มของสารเคมี (chemical group) ที่มีกลไกทางชีวเคมีที่แตกต่างกันไป

6. การแบ่งกลุ่มตามคณะกรรมการบริหารความต้านทานด้านสารป้องกันกำจัดโรคพืช (fungicide resistance action committee (FRAC) group) โดยแบ่งเป็น กลุ่มรหัส (FRAC code) โดยพิจารณาถึงความต้านทานของเชื้อราต่อสารเคมี

การจัดแบ่งชนิดของสารป้องกันกำจัดเชื้อราตามช่องทางการเข้าสู่พืช

พิสุทธิ์ เอกอำนวยการ (2563) ได้ให้รายละเอียดการจัดแบ่งชนิดของสารป้องกันกำจัดเชื้อราตามช่องทางการเข้าสู่พืช (fungicides classification by mobility in plant) โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารเคมีที่ออกฤทธิ์แบบสัมผัส และสารเคมีชนิดดูดซึม ดังนี้

1. สารเคมีที่ออกฤทธิ์แบบสัมผัส (contact fungicides)

สารเคมีกลุ่มนี้เมื่อฉีดพ่นลงบนต้นพืชแล้วจะปกคลุมผิวพืชภายนอก ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา หรือยับยั้งการสร้างสปอร์บริเวณที่สัมผัสโดยตรง เป็นสารที่ใช้แบบป้องกันก่อนที่พืชจะติดเชื้อ ทำให้สารกลุ่มนี้ถูกชะล้างออกได้ง่ายโดยฝน หรือการให้น้ำ หรือ การสลายตัวของสารเองในสภาพแวดล้อม และส่วนมากไม่สามารถป้องกันส่วนของพืชที่เพิ่งเจริญ หรือออกดอกมาหลังจากการพ่นสาร ดังนั้นการใช้สารเคมีกลุ่มนี้จะต้องทำการฉีดพ่นบ่อย ๆ สารกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคได้กว้างขวาง (broad spectrum) ได้แก่

สารกลุ่ม M เป็นสารกลุ่มที่ออกฤทธิ์ได้หลายจุด (multi-site actions) มีโอกาสน้อยที่โรคพืชจะสร้างความต้านทานต่อสารกลุ่มนี้ได้ เช่น

สารอนินทรีย์ (inorganic) เช่น สารประกอบทองแดง (FC Mo1) และกำมะถัน (FC Mo2)

ไดไธโอคาร์บาเมท (dithiocarbamate) (FC Mo3) เช่น แมนโคเซบ มาเนบ ไพรอพิเนบ ไทแรม ซีเนบ

ทาลิมาйд (phthalimides) (FC Mo4) เช่น แคปแทน แคปตาโพล

คลอโรไนไตรล (chloronitriles) (FC Mo5) เช่น คลอโรทาโลนิล

2. สารเคมีชนิดดูดซึม (systemic fungicides)

สารเคมีชนิดนี้เมื่อฉีดพ่นลงบนพืชแล้วจะถูกดูดซึมเข้าไปภายในเนื้อเยื่อพืช และสามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ได้ทั่วทั้งต้นพืช เหมาะสำหรับการรักษาพืชที่เพิ่งเริ่มเป็นโรค หรือเมื่ออาการของโรครยังไม่รุนแรงนักจึงจะได้ผลดี แบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.1 แบบแทรกซึม (local systemic หรือ translaminar) ส่วนใหญ่มีการเคลื่อนที่เป็นระยะทางสั้น ๆ จากจุดที่พ่น เช่นเคลื่อนที่แทรกซึมผ่านผิวใบจากด้านหนึ่งสู่อีกด้านหนึ่ง

กลุ่ม E3 ไอโพรไดโอน โพรไซมิโดน

กลุ่ม C3 คริโซซิม-เมทิล ไตรฟลอกซีสไตรบิน

กลุ่ม H5 ไดเมโทมอร์ฟ

2.2 แบบดูดซึมผ่านทางท่อลำน้ำ (xylem-mobile systemic) เมื่อมีการพ่นสารที่ส่วนล่างมักเป็นราก สารดูดซึมแบบนี้จะถูกดูดซึมเคลื่อนย้ายจากด้านล่างขึ้นส่วนที่สูงขึ้นมาของพืชผ่านทางท่อลำน้ำ (xylem-mobile) เท่านั้น

กลุ่ม A1 เมทาแลกซิล เบนาแลกซิล มินอกแซม (เมทาแลกซิล- เอ็ม)

กลุ่ม B เบนซิมิดาโซล (เบนโนมิล คาร์เบนดาซิม ไทอะเบนดาโซล) ไทโอฟาเนต-เมทิล

กลุ่ม C3 อะซ็อกซีสไตรบิน

กลุ่ม F4 โพรพาโมคาร์บ

กลุ่ม G1 โพรคลอราซ ไตรฟลูโซล ไตพโนโคนาโซล ไมโคลบิวทานิล

2.3 แบบดูดซึมทั้งขึ้นและลง (Amphimobile, true systemic penetrants หรือ phloem-mobile systemic) ดูดซึมผ่านขึ้นทางท่อลำน้ำ (xylem) และดูดซึมลงผ่านทางท่ออาหาร (phloem) ได้แก่

กลุ่ม P1 อาซิเบนโซลา-เอส-เมทิล

กลุ่ม U ฟอสเอททิล-อลูมิเนียม ฟอสฟอนิค-แอซิด

การแบ่งกลุ่มสารป้องกันกำจัดโรคพืชตามการออกฤทธิ์

อรพรรณ วิเศษสังข์ และ จุมพล สารระนาค (2561) ได้อธิบายเกี่ยวกับการแบ่งกลุ่มสารป้องกันกำจัดโรคพืชตามการออกฤทธิ์ (fungicides classification by mode of action (MoA)) จัดทำโดย "คณะกรรมการดำเนินการเกี่ยวกับการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืช" (fungicide

resistance action committee มีชื่อย่อว่า "FRAC") คณะกรรมการดำเนินการเกี่ยวกับการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืช เป็นคณะบุคคลของบริษัทผู้ผลิตสารเคมีต่าง ๆ ที่อุทิศตัวเข้ามามีส่วนร่วมกันเพื่อดูแลให้สารป้องกันกำจัดโรคพืชที่มีอยู่นั้นมีประสิทธิภาพยาวนาน จัดการกับปัญหาการต้านทานและหาแนวทางช่วยลดความเสียหายของผลผลิตพืชในกรณีที่เกิดการต้านทานของเชื้อสาเหตุต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืช จุดประสงค์หลักของคณะกรรมการฯ ในปัจจุบันคือหาคำแนะนำและจัดทำคู่มือสำหรับการจัดการเกี่ยวกับการต้านทานจากสารป้องกันกำจัดโรคพืช และเพื่อให้ประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดโรคพืชที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการต้านทานยังคงอยู่ได้ยืนยาว ซึ่งกลุ่มรหัส (FRAC code group) ของสารป้องกันกำจัดโรคพืชนี้เป็นข้อมูลอย่างหนึ่งที่คณะกรรมการฯ ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการการต้านทานของสารป้องกันกำจัดโรคพืช โดยกำหนดตามวิธีการออกฤทธิ์ จุดที่สารเคมีออกฤทธิ์เข้าทำลาย กลุ่มของสารเคมี และวิธีการเข้าทำลาย และรวมสูงระดับความเสี่ยงต่อการต้านทานของเชื้อราสาเหตุโรคพืชของสารป้องกันกำจัดโรคพืชแต่ละรหัสด้วย คณะกรรมการดำเนินการเกี่ยวกับการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืชจะจัดประชุมและปรับตารางรายชื่อสารป้องกันกำจัดโรคพืชเป็นระยะเพราะนอกจากจะมีสารที่พัฒนาขึ้นมาใหม่แล้ว ยังเป็นการปรับปรุงสารป้องกันกำจัดโรคพืชเดิมที่เพิ่งจะทราบขบวนการออกฤทธิ์ ให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสม คณะกรรมการฯ จะจัดประชุมกันปีละ 2 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ และธันวาคม และปรับปรุงตารางรายชื่อสารป้องกันกำจัดโรคพืชให้อยู่ในกลุ่มต่าง ๆ ปีละครั้ง

อรพรรณ วิเศษสังข์ และ จุมพล สารณะนาค (2561) กล่าวถึงตารางรายชื่อล่าสุดในปี ค.ศ. 2018 (พ.ศ. 2561) ได้เพิ่มกลุ่มของการออกฤทธิ์เพิ่มมาอีก 1 กลุ่ม คือกลุ่ม BM: ชีวินทรีย์ที่ออกฤทธิ์หลายจุด (biologicals with multiple modes of action) และย้ายสารฯ กลุ่มรหัส 33 ที่เดิมไม่ทราบการออกฤทธิ์ไปอยู่ในกลุ่มที่ 10 เป็นกลุ่มที่ไปกระตุ้นความต้านทานในพืช (P) ทำให้การจำแนกสารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชถูกแบ่งตามการออกฤทธิ์ เป็น 14 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1-9 เป็นกลุ่มที่จัดแบ่งตามการออกฤทธิ์เฉพาะเจาะจงต่อการยับยั้งขบวนการสังเคราะห์ทางชีวเคมีของเชื้อสาเหตุโรคพืชในแต่ละจุด (A, B, C, D, E, F, G, H, I)

กลุ่มที่ 10 เป็นกลุ่มที่ไปกระตุ้นความต้านทานในพืช (P, host plant defense induction)

กลุ่มที่ 11 เป็นกลุ่มที่ยังไม่ทราบขบวนการออกฤทธิ์ของสารต่อเชื้อสาเหตุ (U, Unknown mode of action) ในกลุ่มนี้เมื่อมีการศึกษาจนทราบขบวนการออกฤทธิ์ที่ถูกต้องแล้วจะถูกย้ายไปอยู่ในกลุ่มที่เหมาะสม

กลุ่มที่ 12 เป็นกลุ่มสารที่ไม่จัดจำแนก (NC, not classified) สารกลุ่มนี้ใช้มากในขบวนการผลิตทางเกษตรอินทรีย์ และยังไม่ทราบระดับความเสี่ยงต่อการต้านทานสารเคมี

กลุ่มที่ 13 เป็นกลุ่มสารเคมีที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งหลายจุด (M, multiple site contact activity) มีความเสี่ยงต่ำต่อการต้านทานสารเคมี ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการต้านทานต่อสารเคมี ได้แก่ คอปเปอร์ออกไซด์คลอไรด์ แมนโคแซบ แคปแทน

กลุ่มที่ 14 เป็นกลุ่มชีวินทรีย์ที่ออกฤทธิ์หลายจุด (BM, biologicals with multiple modes of action) ยังไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย

นอกจากการจัดแบ่งสารเคมีเป็น 14 กลุ่ม ที่จำแนกตามการออกฤทธิ์ของสารเคมีแล้ว ยังมี การจัดแบ่งกลุ่มย่อยตามจุดเฉพาะเจาะจงของขบวนการออกฤทธิ์ที่เข้าทำลายเชื้อรา ได้จำนวน 78 กลุ่มรหัส ประกอบด้วย กลุ่มรหัสตัวเลข 1- 50, P : P01-P06, U: U06, U12, U13, U14, U16, U17, U18, NC, M: MO1-M12 และ BM: BM01, BMO2

จากการศึกษาของคณะกรรมการพบว่าสารป้องกันกำจัดโรคพืชในแต่ละกลุ่มจะมีความเสี่ยงต่อการต้านทานของเชื้อราสาเหตุโรคพืชแตกต่างกันออกไป จึงได้บรรจุระดับความเสี่ยงต่อการต้านทานในตารางรายชื่อสารฯ ด้วย ซึ่งได้จัดแบ่งออกไว้เป็น 6 ระดับ ดังนี้

มีโอกาสด้านทานสูง เช่น สารป้องกันกำจัดโรคพืชกลุ่มรหัส 1, 4, 10, 11, 25 และ 41

มีโอกาสด้านทานปานกลาง- สูง เช่น สารป้องกันกำจัดโรคพืชกลุ่มรหัส 2, 7, 21, 45, 47 และ 49

มีโอกาสด้านทานปานกลาง เช่น สารป้องกันกำจัดโรคพืชกลุ่มรหัส 3, 8, 9, 13, 19, 24, 50 และ U16

มีโอกาสด้านทาน ต่ำ-ปานกลาง เช่น สารป้องกันกำจัดโรคพืชกลุ่มรหัส 5, 6, 12, 14, 17, 22, 23, 27, 28, 30, 40 และ U12

มีโอกาสด้านทานต่ำ เช่น สารป้องกันกำจัดโรคพืชกลุ่มรหัส 29, 38, MO1, MO2, MO3, MO4, MO5, MO6, MO7, MO8, MO9, M10, M11, M12(42) และ P07(33)

และมีบางสารที่ยังไม่ทราบโอกาสด้านทานต่อเชื้อ เช่น 16.1, 16.2, 16.3, 18, 20, 29, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 43, 44, 46, PO1, PO2, PO3, PO4, P05, PO6, U06, U18(26), U13, U14, U17, U18 และ NC

ถ้าสารป้องกันกำจัดโรคพืชใดถูกจัดตามวิธีการออกฤทธิ์ให้มีความเสี่ยงสูง สารนั้นจะมีโอกาสที่เชื้อราสามารถสร้างความต้านทานได้สูง สารป้องกันกำจัดโรคพืชที่เข้าทำลายเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่เฉพาะจุดใดจุดหนึ่งมีโอกาสที่สูญเสียประสิทธิภาพได้สูงเพราะเกิดการพัฒนากการต้านทานของเชื้อได้ง่าย ข้อสำคัญคือสารป้องกันกำจัดโรคพืชที่ถูกจัดไว้ในกลุ่มรหัสเดียวกันเพราะมีกลุ่มเคมีและวิธีการออกฤทธิ์เหมือนกันจะมีแนวโน้มที่เกิดการต้านทานได้ทั้งกลุ่ม

เมื่อเริ่มพบการต้านทานในสารชนิดใดชนิดหนึ่งในกลุ่มรหัสเดียวกัน (cross resistance) ขณะเดียวกันเชื้อราที่สร้างความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืชชนิดหนึ่งในกลุ่มรหัสนั้นจะพัฒนาความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีกลุ่มรหัสเดียวกันด้วย ถึงแม้สารเหล่านั้นยังไม่เคยใช้เลย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม

สารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมเป็นสารป้องกันกำจัดโรคพืชชนิดดูดซึมที่จัดอยู่ในกลุ่มเบนซิมิดาโซล (benzimidazole) เป็นสารออกฤทธิ์แบบเฉพาะจุด กล่าวคือจะเข้าไปจับโปรตีนทูบูลิน (tubulin) โดยเข้าไปจับอย่างจำเพาะเจาะจงกับโปรตีน beta-tubulin subunit ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโครงสร้างไมโครทูบูล (microtubules) โครงสร้างนี้มีลักษณะคล้ายเส้นด้ายสำหรับดัดโครโมโซมให้แยกคู่ เมื่อไม่สามารถสร้างไมโครทูบูลได้ การแยกตัวของโครโมโซมคู่เหมือนจะถูกยับยั้งลงไป ดังนั้นเชื้อราจึงไม่สามารถแบ่งตัวได้ตามปกติ เนื่องด้วยการออกฤทธิ์แบบจำเพาะจุด ประกอบ

กับการใช้สารเคมีอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลทำให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชเกิดการปรับตัวเอง หรือ กลายพันธุ์ให้ต้านทานต่อสารเคมี เพื่อความอยู่รอด โดยความต้านทานสารเคมีกลุ่มเบนซิมิดาโซลนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของลำดับกรดอะมิโนของยีน beta-tubulin (*TUB*) ณ ตำแหน่งจับของสารเบนซิมิดาโซล (benzimidazole binding site) ทำให้สารคาร์เบนดาซิมไม่สามารถจับที่ตำแหน่งดังกล่าวได้ (Ma & Michailides, 2005)

สารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อราที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตร สารนี้มีชื่อเรียกทางการค้ามากมาย ได้แก่ คอนโตแซน, คาร์เบนดาตา 50, คาร์เบนดาซิม 50, เดลซิน 50, คาร์เบนดาซิม 60, เดลซิน 750, เดอโรซาล, เบนด้า 50 และบาวีซาน สารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมเป็นสารที่มีความคงตัวสูงสลายตัวยากในน้ำ ดิน และผลผลิตทางการเกษตร จากการศึกษาพบว่าสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมเป็นอันตรายเมื่อถูกผิวหนัง มีผลทำให้เกิดการระคายเคืองตา อาจเกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ และผิวหนังที่ไม่สามารถแก้กลับคืนได้ (ภานุมาศ นาคเจือทอง และคนอื่น ๆ, 2554)

คำแนะนำในการใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืชเพื่อหลีกเลี่ยงการต้านทานสารเคมี

พิสุทธิ์ เอกอำนวยการ (2563) ได้ให้คำแนะนำการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง โดยกล่าวว่าเกษตรกรควรฉีดพ่นสารที่ออกฤทธิ์แบบสัมผัส เช่น สารแมนโคเซบ โพรพิเนบ หรือ ไทแรม เป็นหลัก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการต้านทานสารเคมี เพราะสารกลุ่มนี้ไม่เคยมีปัญหาดังกล่าว แต่การออกฤทธิ์ต่อเชื้อราอาจจะเป็นการป้องกันมากกว่า เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมต่อการระบาดของโรคควรผสมสารเคมีมากกว่า 1 ชนิด หรือ ใช้สลับกับกลุ่มที่ออกฤทธิ์แบบดูดซึม เช่น โพรคลอราซ ไดฟีโคนาโซล คาเบนดาซิม หรือกลุ่มคอปเปอร์ เช่น บอร์โดมิกเจอร์ คอปเปอร์อ็อกไซด์ คลอไรด์ คอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ฉีดพ่นทุก 10-14 วัน ประมาณ 3-4 ครั้ง หรือตามความจำเป็น ควรหลีกเลี่ยงช่วงดอกกำลังบาน ทั้งนี้ไม่ควรใช้สารชนิดเดียวอย่างต่อเนื่อง หรือติดต่อกันเป็นเวลานาน โดยเฉพาะสารที่ออกฤทธิ์แบบดูดซึม

อรพรรณ วิเศษสังข์ และ จุมพล สารระนา (2560) ได้ให้คำแนะนำกว้าง ๆ ในการใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืช เพื่อหลีกเลี่ยงการต้านทานสารเคมีของเชื้อรา ดังนี้

1. ถ้าใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืชมากกว่า 1 ชนิด สารที่นำมาผสมนั้นจะต้องมีวิธีการออกฤทธิ์ที่ต่างกัน
2. ปฏิบัติตามคำแนะนำบนฉลากของสารเหล่านั้น เพราะสารบางชนิดอาจจะผสมกับสารบางกลุ่มไม่ได้
3. เมื่อจำเป็นต้องมีการพ่นสารหลายครั้งในฤดูปลูก จะต้องสลับ หรือผสมด้วยสารป้องกันกำจัดโรคพืชที่มีวิธีการออกฤทธิ์ที่ต่างกัน
4. พ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืชเมื่อเริ่มพบว่ามีอาการเกิดโรคเพียงเล็กน้อย เมื่อมีการระบาดของโรคที่รุนแรงมาก อย่าคาดหวังว่าสารป้องกันกำจัดโรคพืชจะควบคุมโรคได้ดี เพราะพืชอาจเสียหายจากโรคได้

5. ใช้สารตามอัตราที่แนะนำบนฉลาก ถึงแม้จะมีการผสมสารเคมีหลายชนิด แต่ก็จะต้องใช้สารเคมีแต่ละชนิดตามอัตราที่แนะนำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุธาสินี ชัยชนะ และสร้อยญา ณ ลำปาง (2550) ตรวจสอบความต้านทานของเชื้อรา *Colletotrichum* spp. สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม โดยเก็บรวบรวมตัวอย่าง และแยกเชื้อราจากผลมะม่วงที่เป็นโรคแอนแทรคโนสในจังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษาความต้านทานต่อ สารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเตรียมอาหาร PDA เพื่อผสมกับสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม ความเข้มข้น 0.1, 1, 10, 100, 500 และ 1,000 ppm บนจานอาหารทดลองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับการเจริญในชุดควบคุม คืออาหาร PDA ที่ไม่ผสมสารใด ๆ ทำการประเมินระดับความต้านทานของเชื้อราต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อรา คาร์เบนดาซิมเป็น 4 ระดับ จากการทดสอบเชื้อรา *Colletotrichum* spp. จำนวน 40 ไอโซเลต พบว่ามีเชื้อราที่อ่อนแอต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อรา คาร์เบนดาซิม หรือสายพันธุ์ปกติ (sensitive; S) ทั้งหมด 14 ไอโซเลต คิดเป็น 35.00 เปอร์เซ็นต์ และพบเชื้อราที่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมระดับสูง (highly resistance; HR) จำนวน 26 ไอโซเลต คิดเป็น 65.00 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบครั้งนี้ไม่พบเชื้อราที่มีความต้านทานระดับปานกลาง (moderately resistance; MR) และเชื้อราที่มีความต้านทานระดับต่ำ (weakly resistance; WR)

ลัดดาวัลย์ ผดุงโอษฐ์ (2550) การตรวจสอบความต้านทานต่อสารเคมีเบนซิมิดาโซลของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสกุหลาบ โดยทำการแยกเชื้อบริสุทธิ์จำนวน 93 ไอโซเลต มาทดสอบความสามารถของสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของกุหลาบกับที่ระดับความเข้มข้น 1, 10, 100 และ 500 ppm อัตราแนะนำคือ 500 ppm และกำหนดให้เชื้อราที่สามารถเจริญได้ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 100 ppm คือ เชื้อราที่มีความต้านทานสูง (HR) ส่วนเชื้อราที่สามารถเจริญได้ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 1 แต่น้อยกว่า หรือเท่ากับ 100 ppm คือ เชื้อราที่มีความต้านทานในระดับปานกลาง (MR) และเชื้อราที่เจริญได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 1 ppm คือ เชื้อราที่อ่อนแอต่อสารเคมี (S) พบว่าเชื้อราแสดงการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมระดับสูง (HR) จำนวน 3 ไอโซเลต และพบเชื้อราที่ไม่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม (S) จำนวน 90 ไอโซเลต โดยจากการทดลองนี้ไม่พบการต้านทานในระดับปานกลาง (MR) ต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม

Kumar, A. S. et al. (2007) ทำการศึกษาความต้านทานของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงในประเทศอินเดียจำนวน 6 ไอโซเลต โดยทดสอบในสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราชนิดดูดซึม 4 ชนิด ได้แก่ คาร์เบนดาซิม 50 ppm, ไทโอฟานาตเมทิล (thiophanate- methyl) 50 ppm, โพรพิโคนาโซล 25 ppm และเฮกซาโคนาโซล (hexaconazole) 25 ppm และสารชนิดไม่ดูดซึม 2 ชนิด ได้แก่ แมนโคเซบ 1,000 ppm และคอปเปอร์ออกไซด์คลอไรด์ 1,000 ppm ด้วยวิธี poisoned food technique ผลการทดลองพบว่าทุกไอโซเลตตอบสนองต่อสารเคมีชนิดดูดซึม (sensitive) ยกเว้นไอโซเลต Cg3 ที่แสดงระดับความ

ต้านทานปานกลางต่อสารไทโอฟาเนตเมทิล ไอโซเลต Cg1, Cg3 และ Cg6 ตอบสนองต่อแมนโคเซบสูง (highly sensitive) ส่วน Cg5, Cg7, Cg2 และ Cg4 มีความต้านทานสารแมนโคเซบระดับสูง (highly resistant) และพบว่าเชื้อราทุกไอโซเลตมีความต้านทานต่อสารคอปเปอร์ออกซีคลอไรด์

วรรณชมน บุญยั้ง (2553) ทำการวิเคราะห์ลักษณะ และควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum* spp. ที่ต้านทานสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมในพริก ทำการประเมินระดับความต้านทานของเชื้อรา *Colletotrichum* spp. ต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมโดยเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันคือ 0, 0.1, 1, 10, 100, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดลองพบเชื้อราที่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมระดับสูง (HR) จำนวน 43 ไอโซเลต โดยแบ่งเป็นเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 27 ไอโซเลต และ *Colletotrichum capsici* จำนวน 16 ไอโซเลต ส่วนเชื้อราที่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมระดับปานกลาง (MR) มีจำนวน 5 ไอโซเลต โดยแบ่งเป็นเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 4 ไอโซเลต และ *Colletotrichum capsici* จำนวน 1 ไอโซเลต และเชื้อราที่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมได้เล็กน้อย (WR) มีจำนวน 3 ไอโซเลต โดยแบ่งเป็นเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 1 ไอโซเลต และ *Colletotrichum capsici* จำนวน 2 ไอโซเลต นอกจากนี้พบเชื้อราที่อ่อนแอต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม (S) จำนวน 49 ไอโซเลต โดยแบ่งเป็นเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 41 ไอโซเลต และเชื้อรา *Colletotrichum capsici* จำนวน 8 ไอโซเลต

ณัฐพงษ์ นวลดี และคนอื่น ๆ (2553) ศึกษาลักษณะของเชื้อรา *Cercospora* spp. สาเหตุโรคใบจุดของผักกาดหอมจำนวน 5 ชนิดในจังหวัดเชียงใหม่ที่ต้านทานสารคาร์เบนดาซิม โดยทำการแยกเชื้อราบริสุทธิ์จากใบพืชที่เป็นโรคจำนวน 60 ไอโซเลต นำมาทำการทดสอบความต้านทานของเชื้อรา *Cercospora* spp. ต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ คือ 0, 1, 10, 50, 100, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบการเจริญของโคโลนี เชื้อรากับชุดควบคุม คือ อาหาร PDA ที่ไม่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม ผลการทดลองพบเชื้อราที่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมระดับสูง (HR) จำนวน 48 ไอโซเลต ส่วนเชื้อราที่ไม่ทนต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม หรือ สายพันธุ์ปกติ (S) จำนวน 12 ไอโซเลต

พรประพา คงตระกูล และสร้อยญา ณ ลำปาง (2553) ได้เก็บรวบรวมเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงจากตลาดสดในจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 100 ไอโซเลต จากนั้นทดสอบ บนอาหาร PDA ที่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 10, 50, 100, 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบการเจริญของโคโลนี เชื้อรากับชุดควบคุม คือ อาหาร PDA ที่ไม่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม ผลการทดลองพบเชื้อราที่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมระดับสูง (HR) จำนวน 95 ไอโซเลต และเชื้อราที่ไม่ทนต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม หรือ สายพันธุ์ปกติ (S) จำนวน 5 ไอโซเลต

นิวัฒน์ กระจ่าง (2557) ทดสอบความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงในจังหวัดจันทบุรี ทำการแยกเชื้อด้วยวิธี tissue transplanting ทดสอบความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อรา

คาร์เบนดาซิมบนอาหาร PDA ที่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมความเข้มข้นระดับต่าง ๆ คือ 0.1, 1, 10, 100, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบการเจริญของเส้นใยของเชื้อรากับชุดควบคุมซึ่งใช้อาหาร PDA ไม่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม ทำการประเมินระดับความต้านทานของเชื้อราต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม 4 ระดับ จากการทดสอบเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 6 ไอโซเลต พบเชื้อราที่มีความต้านทานสูงจำนวนทั้งหมด 6 ไอโซเลต แต่ไม่พบเชื้อราที่ต้านทานปานกลาง ต้านทานน้อย และไม่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม

Nalumpang, S. et al. (2010) ทดสอบจุดการกลายพันธุ์ของยีน และพีโนไทป์ที่ได้รับความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ที่ก่อให้เกิดเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยเก็บรวบรวมผล และใบของมะม่วงจากตลาดและสวนผลไม้ในประเทศไทย มาทำการแยกเชื้อบริสุทธิ์ ทดสอบความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมบนอาหาร PDA ที่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 0.1, 1, 10, 100, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดลองพบเชื้อราที่มีความต้านทานระดับสูง จำนวน 49 ไอโซเลต โดยเป็นไอโซเลตจากใบ จำนวน 2 ไอโซเลต และไอโซเลตจากผล จำนวน 47 ไอโซเลต ส่วนเชื้อราที่มีความอ่อนแอเป็นไอโซเลตจากใบ จำนวน 2 ไอโซเลต และไอโซเลตจากผล จำนวน 2 ไอโซเลต จากการทดลองพบว่าเชื้อราที่ไม่มีความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมต้านทานต่ำ และต้านทานปานกลาง

Kongtragoul, P. et al. (2011) ทำการเก็บรวบรวมผลไม้ และใบไม้ที่ติดเชื้อจากธรรมชาติที่รวบรวมจากสายพันธุ์มะม่วงต่าง ๆ จากตลาดและสวนในประเทศไทยในปี 2007-2008 ทำการแยกเชื้อบริสุทธิ์ด้วยวิธี tissue transplanting จากนั้นนำมาทดสอบความต้านทานของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม บนอาหาร PDA ที่ผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ความเข้มข้น 0.1, 1, 10, 100, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 150 ไอโซเลต พบเชื้อราที่มีความต้านทานสูงจำนวน 113 ไอโซเลต โดยเป็นไอโซเลตจากใบจำนวน 18 ไอโซเลต (12 เปอร์เซ็นต์) และไอโซเลตจากผลจำนวน 95 ไอโซเลต (63.3 เปอร์เซ็นต์) พบเชื้อราสายพันธุ์ปกติ จำนวน 37 ไอโซเลต (24.7 เปอร์เซ็นต์) ได้จากใบ 28 ไอโซเลต (18.7 เปอร์เซ็นต์) และจากผล 9 ไอโซเลต (6 เปอร์เซ็นต์) โดยไม่พบเชื้อราที่ต้านทานปานกลาง และเชื้อราที่ต้านทานน้อย

Suwan & Na-Lampang (2013) ทำการทดสอบความทนทานของเชื้อราจากพริกจำนวน 15 ไอโซเลต ได้แก่ *Colletotrichum gloeosporioides* จำนวน 8 ไอโซเลต และ *Colletotrichum capsici* จำนวน 7 ไอโซเลต บนอาหาร PDA ที่ผสมสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.1, 1, 10, 100, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบเชื้อราสายพันธุ์ต้านทานสูง (highly resistance) จำนวน 9 ไอโซเลต สายพันธุ์ทนทานปานกลาง (moderate resistance) จำนวน 1 ไอโซเลต สายพันธุ์ต้านทานน้อย (weakly resistance) จำนวน 2 ไอโซเลต และสายพันธุ์ปกติ (sensitive) จำนวนจำนวน 3 ไอโซเลต

Mekwilai & Nalumpang (2017) รายงานผลการประเมินระดับความต้านทานต่อสารเคมีคาร์เบนดาซิมของเชื้อรา *Botrytis cinerea* สาเหตุโรคราสีเทา (gray mold) ขององุ่นที่ทำการเก็บ

รวบรวมจากตลาด และสวนองุ่นในจังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาเชื้อราจำนวน 82 ไอโซเลต พบว่าทุกไอโซเลตเป็นสายพันธุ์ต้านทานสูง (highly resistance, HR) ต่อสารคาร์เบนดาซิม

Sayiprathap, B. R. et al. (2018) ทำการตรวจคัดกรองสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา 9 ชนิด ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงในระยะกล้า ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ในสภาพเรือนเพาะชำ ทำการปลูกเชื้อด้วยสปอร์แขวนลอยแล้วปล่อยให้ต้นกล้าแสดงอาการเป็นโรคประมาณ 15-20 วัน จากนั้นสเปรย์สารเคมีที่ใช้ในการทดลองทุก 15 วัน จำนวน 3 ครั้ง สังเกตอาการเมื่อ 15 วันหลังการสเปรย์สารเคมีครั้งสุดท้าย ทำการประเมินโรค และคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดโรคเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่สเปรย์น้ำเปล่าแทนสารเคมี ผลการทดลองพบว่าไตรฟลอกซีสโตรบิน+ทีบูโคนาโซล (trifloxystrobin + tebuconazole) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีผลลดโรค (disease reduction) ดีที่สุดเท่ากับ 76.72 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม รองลงมา คือ สารทีบูโคนาโซล (tebuconazole), โพรพิโคนาโซล (propiconazole), เฮกซาโคนาโซล (hexaconazole) และ ไดฟีโคนาโซล (difeconazole) ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีผลลดโรคเท่ากับ 69.84, 66.73, 58.45 และ 53.67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแมนโคเซบ (mancozeb) ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีผลลดโรคน้อยที่สุดเท่ากับ 22.55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

สัณฐิติ บินคาเดอร์, รัตยา พงศ์พิสุทธา และชัยณรงค์ รัตนกริฑากุล (2561) ทำการศึกษาการตอบสนองต่อสารเคมีกำจัดเชื้อราของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ที่แยกได้จากมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในจังหวัดฉะเชิงเทรา ทำการจำแนกเชื้อราโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา และเทคนิค PCR-RFLP จากนั้นทดสอบการตอบสนองของเชื้อราต่อสารเคมีกำจัดเชื้อราจำนวน 6 ชนิด โดยใช้เทคนิค poisoned food บนอาหาร PDA พบว่าสารโพรคลอราซความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งแตกต่างไปจากคาร์เบนดาซิม และไดฟีโคนาโซลที่สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ตั้งแต่ความเข้มข้น 100 ppm ขึ้นไป

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีรายงานการศึกษาความต้านทานของเชื้อราต่อสารเคมีจำนวนมาก โดยเฉพาะในเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง ที่พบมีรายงานความต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม ทั้งใน และต่างประเทศ เนื่องจากสารคาร์เบนดาซิมเป็นสารชนิดดูดซึมที่ออกฤทธิ์เฉพาะเจาะจงที่มีความเสี่ยงต่อความต้านทาน มีโอกาสที่เชื้อราจะสามารถสร้างความต้านทานได้สูง นอกจากนี้หากพบความต้านทานต่อสารคาร์เบนดาซิมในแปลงปลูกแล้ว ก็มีโอกาที่จะพัฒนาความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดโรคพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีกลุ่มรหัสเดียวกันด้วย ทำให้การใช้สารเคมีชนิดนั้นไม่สามารถใช้ในการป้องกันกำจัดโรคได้