สำรวจเอกสาร

พริกเป็นพืชล้มลุกอยู่ในวงศ์ *Solanaceae* ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum spp.* (สรจักร ศิริบริรักษ์, 2539) พริกขึ้นอยู่กระจายทั่วไปของโลก ส่วนใหญ่จะเจริญอยู่ในเขตร้อน (เฉลิม เกียรติ โภคาวัฒนา, 2540) พริกเป็นผักชนิดหนึ่งที่มีมูลค่าการส่งออกสูง มูลค่าการส่งออกรวมราว 900 ล้านบาท/ปี การส่งออกพริกมีทั้งรูปผลสด ซ๊อสพริก และพริกแห้ง นับตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นมา มีไม่ต่ำกว่า 10,000 ตัน และมีมูลค่าเฉลี่ย 77 - 100 ล้านบาท/ปี ในปี 2544 มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 12,283 ตัน และมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 114 ล้านบาท ประเทศนำเข้าหลัก ได้แก่ มาเลเซีย 86 % รองลงมา ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ สิงคโปร์ และไต้หวัน (กรมวิชาการเกษตร, 2547) พริกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของวิตามินเอ ซี และอี โดยเฉพาะวิตามินซีพบว่ามีมากกว่าพืชผักชนิดอื่น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของพลังงานและแร่ธาตุ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เหล็ก แคลเซียม ความเผ็ดของพริกเกิดจากสารในกลุ่ม capsaicinoids เช่น capsaicin ($C_{16}H_{27}NO_3$) ซึ่งเป็นสาร volatile phenolic compound ที่อยู่ภายในผล ใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหารในรูปแบบต่างๆ (จงรักษ์ แก้วประสิทธ์, 2549) มีการสำรวจการบริโภคพริกของคนในประเทศต่างๆ พบว่า คนอเมริกัน อินเดีย ไทย และเม็กซิโกบริโภคพริกปริมาณ 1.5, 2.5, 5 และ 20 กรัม/คน/วัน ซึ่งถือว่าการบริโภคพริกของประชากรต่างๆ ในโลกนั้นมีอยู่ไม่น้อยทีเดียว สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพริกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดอุบลราชธานี ศรีสะเกษ ขอนแก่น เลย, กาฬสินธุ์ นครสวรรค์ อุตรดิตถ์ เชียงใหม่ ลพบุรี พระนครศรีอยุธยา กาญจนบุรี นครปฐม สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ตราด (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริก

พริกเป็นพืชที่มีอายุอยู่ได้หลายฤดู มีลักษณะลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 1-1.5 ฟุต (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2527) พริกเป็นพืชที่มีการเจริญของกิ่งเป็นแบบ dichotomous คือ กิ่งจะเจริญจากลำต้นเพียง 1 กิ่ง แล้วแตกเป็น 2 กิ่ง และเพิ่มเป็น 4 เป็น 8 ไปเรื่อยๆ จึงมักจะพบว่าต้นพริกที่สมบูรณ์จะมีกิ่งแตกขึ้นมาจากต้นที่ระดับดินหลายกิ่ง จนดูคล้ายกับว่ามีหลายต้นอยู่รวมที่เดียวกัน ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว ใบแบนเรียบ มีขนบ้างเล็กน้อย ใบมีรูปร่างตั้งแต่รูปไข่ไปจนกระทั่งเรียวยาวขนาดใบมีต่างๆ กัน ใบพริกหวานมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ใบพริกขี้หนูทั่วไปมีขนาดเล็กราก เป็นพืชที่มีรากหากินได้ลึกมาก ต้นพริกที่โตเต็มที่รากฝอยจะแผ่ออกไปหากินด้านข้างในรัศมีเกินกว่า 1 เมตร และหยั่งลึกลงในดินเกินกว่า 1.20 เมตร ตรงบริเวณรอบๆ ต้นจะพบรากฝอยสานกันอยู่อย่างหนาแน่นมากดอก โดยปกติมักจะพบว่าดอกเกิดเดี่ยวที่ข้อตรงมุมที่เกิดใบหรือกิ่ง แต่ก็พบว่ามีหลายดอกที่เกิดขึ้นตรงจุดเดียวกัน ดอกประกอบด้วยกลีบรอง ดอกมีลักษณะเป็นพู 5 พู

มีกลีบดอกซึ่งมีสีขาวอยู่ 5 กลีบ (แต่อาจจะมี 4, 5, 6 หรือ 7 กลีบ) บางพันธุ์กลีบดอกจะเป็นสีม่วง โดยปกติจะมีเกสรตัวผู้อยู่ 5 อัน ซึ่งเท่าจำนวนกลีบดอกนั่นเอง เกสรนี้จะแตกออกมาจากตรงโคนของกลีบดอก อับเกสรตัวผู้มักมีสีน้ำเงินและแยกตัวเป็นกระเปาะเล็กๆ ยาวๆ สำหรับเกสรตัวเมียชูขึ้นไปเหนือเกสรตัวผู้ ส่วนของยอดของเกสรตัวเมียมีรูปร่างเหมือนกระบอกหัวมนๆ รังไข่มีอยู่ 3 พู หรืออาจจะมี 2 หรือ 4 ก็ได้ พริกมักออกดอกและติดผลในสภาพที่มีช่วงวันสั้น (สรจักร ศิริบริรักษ์, 2539) ผล เป็นประเภท berry ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะ มีฐานขั้นผล (peduncle) สั้นและหนา โดยปกติผลอ่อนมักชี้ขึ้น เมื่อเป็นผลแก่ผลอาจชี้ขึ้นหรือห้อยลง ถ้าพันธุ์ที่มีลักษณะขั้วผลอ่อน พันธุ์นั้นจะให้ผลที่ห้อยลง ผลมีลักษณะตั้งแต่แบนๆ กลมยาว จนถึงพอง อ้วน สั้น ขนาดผลมีตั้งแต่ขนาดผลเล็กๆ ไปจนกระทั่งผลขนาดใหญ่ ผนังผล (pericarp) มีตั้งแต่บางไปจนถึงหนาซึ่งจะขึ้นอยู่กับพันธุ์พริก เมื่อผลแก่สุกอาจเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดง หรือเหลืองพร้อมๆ กับการแก่ของเมล็ดในผลควบคู่กันไป ผลพริกมีความเผ็ดแตกต่างกันไป บางพันธุ์เผ็ดจัด บางพันธุ์ไม่เผ็ดเลย ฐานของผลอาจแบ่งออกได้เป็น 2-4 ห้อง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในพริกหวานทั่วไป แต่พริกที่มีขนาดผลเล็กอาจสังเกตได้ยาก ในบางพันธุ์อาจดูเหมือนว่าภายในผลมีเพียงห้องเดียวโดยตลอด เนื่องจาก setae ไม่เจริญยาวตลอดถึงปลายผลในระหว่างการเจริญเติบโตของผล หากอุณหภูมิในเวลากลางวันสูงและความชื้นในบรรยากาศต่ำจะทำให้ผลพริกมีการเจริญเติบโต (off-type) ที่มีรูปร่างบิดเบี้ยวและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้การติดเมล็ดก็ยังต่ำกว่าปกติอีกด้วย (สรจักร ศิริบริรักษ์, 2539) เมล็ด เมล็ดจะเกิดเกาะรวมกันอยู่ที่รก (placenta) ซึ่งมีตั้งแต่โคนจนถึงปลายผล เมล็ดพริกมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าเมล็ดมะเขือเทศ แต่มีรูปร่างคล้ายกัน คือ มีลักษณะรูปกลมแบน มีสีเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาล แต่ผิวเมล็ดพริกไม่ค่อยมีขนเหมือนอย่างในมะเขือเทศ ตามมาตรฐานของขนาดเมล็ดพริก เช่นเมล็ดพริกหวาน 1 กรัม ควรจะมีเมล็ดพันธุ์ 166 เมล็ดขึ้นไป ส่วนพริกเผ็ดที่มีขนาดผลเล็กควรมีขนาดเมล็ดเล็กลง เช่น เมล็ดพริกพันธุ์ห้วยสีทน 1 น้ำหนัก 1 กรัม มีจำนวนเมล็ดถึง 256 เมล็ด (เฉลิมเกียรติโภคาวัฒนา, 2540)

พันธุ์พริก

พริกที่ปลูกอยู่ทั่วโลกนี้มีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิดแตกต่างกันไปตามแหล่งที่ปลูก โดยที่แต่ละพันธุ์จะมีสีและความเผ็ดในระดับที่ต่างกัน (Heiser และ Pickersgills, 1969) แบ่งพริกออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, 2540) กลุ่ม A *Capsicum annuum* Linn. ผลสุกมีสีแดงเข้ม แวววาวจนถึงสีน้ำตาลแดง สีเหลืองเข้มและสีม่วง กลุ่ม B *Capsicum frutcscens* Linn. และ *Capsicum chinense* Jacq. ผลสุกมีสีน้ำตาลแดง สีส้มและสีขาวเหลือง กลุ่ม C *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (Wild.) Eshbaugh. ผลสุกมีสีเหลืองส้มจนถึงสีแดงกลุ่ม D

Capsicum pubescens Ruiz & Pav. ผลสุกมีสีส้มถึงสีแดง พริกที่นิยมปลูกในประเทศไทยจากการสำรวจพบว่ามีอยู่ 3 กลุ่ม (พยนต์ และคณะ, 2526) ได้แก่

1) *Capsicum annuum* Linn.

เป็นพริกที่ปลูกมากและมีความสำคัญที่สุดเมื่อเทียบกับพริกชนิดอื่นๆ พริกชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดแรกอยู่ในอเมริกากลาง ได้แก่ ประเทศเม็กซิโกและประเทศใกล้เคียง มีหลักฐานว่าพริกชนิดนี้ถูกนำไปเผยแพร่ในประเทศยุโรป โดยการเดินทางของโคลัมบัส ในปี ค.ศ. 1494 (IBPGR Secretariat, 1983)และพริกชนิดนี้ยังได้แพร่กระจายไปทวีปเอเชียและแอฟริกา ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดที่สอง(secondary centres) พริกชนิดนี้มีดอกเดี่ยว ผลเดี่ยว และมีกลีบดอกสีขาว สำหรับในประเทศไทยพบว่าสายพันธุ์พริก *Capsicum annuum* ที่ใช้ปลูกมีมากที่สุดเมื่อเทียบกับพริกชนิดอื่นรวบรวมได้ 31สายพันธุ์ ชื่อสายพันธุ์เรียกตามชื่อพื้นเมือง ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกชี้ฟ้าใหญ่ พริกจินดา พริกแดง พริกฟักทอง พริกขี้หนู พริกขี้หนูชี้ฟ้า พริกขี้หนูจินดา พริกหวาน พริกหยวก และพริกยักษ์ เป็นต้น(Worayos, 1986)

2) *Capsicum chinese* Jacq.

พริกพวกนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คล้ายกับ *Capsicum annuum* และ *Capsicum frutescens* คือ สีกลีบดอกเขียวอ่อน (greenish white) มีดอก 2 ดอกต่อข้อหรือมากกว่า 2 ดอกต่อข้อ เมื่อผลแก่จะมีรอยคอดที่กลีบเลี้ยงติดกับก้านของผล (Worayos, 1986) พริกในกลุ่มนี้มีผลใหญ่ เนื้อหนา ใช้รับประทานสด พริกที่เนื้อบางใช้ทำพริกแห้ง ส่วนพริกผลเล็กมีกลิ่นและรสเผ็ดจัดเชื่อว่ามีรสเผ็ดที่สุดในพริกที่ปลูกทั้งหมด เป็นพริกที่ปลูกมากในแถบเขาแอนดีสในอเมริกาใต้ (Pickersgill, 1969)กระจายพันธุ์มากในบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน และพริกชนิดนี้ยังกระจายไปยังแอฟริกา โดยเส้นทางการค้าของชาวโปรตุเกส แต่พริกนี้ไม่เป็นที่นิยมในเอเชียแถบร้อน ในประเทศไทยมีการเก็บรวบรวมสายพันธุ์พริกชนิดนี้อยู่ 18 สายพันธุ์ มีชื่อเรียกดังนี้ พริกขี้หนู พริกขี้หนูแดง พริกกลาง พริกเล็บมือนาง พริกขี้หนูหอม พริกสวน และพริกใหญ่ เป็นต้น (สมพร ทรัพย์สาร, 2525)

3) *Capsicum frutescens* Linn.

ดอกมีสีเขียวหรือสีเขียวอมเหลือง เป็นมันสะท้อนแสง ผลมีทั้งทรงกลมและรูปกรวย (Rylski, 1987; Smith และคณะ, 1987) ต้นมีความสูงประมาณ 45 เซนติเมตร แต่ในเขตร้อนพริกกลุ่มนี้อาจเป็นไม้ยืนต้น มีอายุหลายปี เป็นพริกที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วโลก มีมากพอสมควรในประเทศไทย เช่น พริกขี้หนูสวนและพริกซ่อ (สมพร ทรัพย์สาร, 2525; Thompson และ Kelly, 1957; Knott, 1962; George, 1985)

โรคแอนแทรคโนสในพริก

โรคแอนแทรคโนส ใช้เรียกกับพืชที่แสดงอาการแผลที่มีขอบเขตจำกัด เซลล์แห้งตาย (necrosis) การเจริญเติบโตช้า (hypoplasia) โดยทั่วไปโรคนี้เกิดจากเชื้อราใน order Melanconiales ซึ่งมีอยู่ family เดียว คือ Melanconiaceae โดยอยู่ใน genera *Colletotrichum* ซึ่งเป็นปรสิตของพืชต่างๆ หลายชนิดโรคนี้เกิดได้ทั้งในไร่และภายหลังการเก็บเกี่ยว ในประเทศไทยเรียกโรคนี้ว่าโรคกุ้งแห้งเนื่องมาจากอาการแห้ง หงิกงอ และสีของผลผลิตที่เปลี่ยนแปลง โรคนี้พบระบาดทำความเสียหายให้แก่พริกชนิดต่างๆ ในแหล่งที่มีการปลูก โดยเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งมีสภาพอากาศร้อนและชื้นโรคจะระบาด และทำความเสียหายได้มากที่สุด ลักษณะอาการของโรคบนใบและผลจะเกิดสีเข้มจะเห็น fruiting body แบบ acervulus สีน้ำตาลดำเรียงตัวกันอยู่เป็นวงๆ ถ้าอากาศชื้นมากๆ จะพบว่าบริเวณแผลจะมีเมือกสีชมพู-ส้ม (slime mass) ซึ่งในเมือกนี้มีสปอร์อยู่มากมาย เชื้อราใน genera นี้มีความแตกต่างกัน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกสร้าง setae สีเข้มเกิดภายใน acervulus กลุ่มที่สองไม่สร้าง setae ภายใน acervulus แต่ภายใน acervulus จะเป็นที่เกิดของ conidiophore สั้นๆ ซึ่งจะสร้าง conidia เกิดอยู่ตรงปลาย conidiophore ของเชื้อราใน genera นี้มี 2 แบบ คือ รูปไข่ยาวรี (ovoid to oblong) หรือรูปเรียวโค้ง (curved) มักพบมากเมื่อพริกเริ่มสุก โดยเฉพาะพริกผลใหญ่ประเภทพริกชี้ฟ้าจะเป็นโรคนี้ และระบาดได้รวดเร็วกว่าพริกขี้หนู โรคนี้สามารถติดไปกับเมล็ดได้ โดยเริ่มจากจุดฉ่ำน้ำเล็กๆ จะเกิดจุดบุ๋ม ช้ำและขยายใหญ่ขึ้นจนติดต่อกับแผลอื่น ซึ่งจะขยายขนาดออกในลักษณะวงรีหรือวงกลม ต่อมาผลจะแห้งและหงิกงอ ถ้ามีความชื้นสูงจะเกิดอาการเน่า จะพบเห็นเชื้อราเจริญอยู่บนเนื้อเยื่อของพืชมีลักษณะเป็นวงกลมซ้อนกันสีดำเป็นชั้นๆ กระจายออกไปตามวงกว้างของแผลได้ชัดเจน (สมศิริ แสงโชติ, 2529) เชื้อที่เป็นสาเหตุแอนแทรคโนสของพริกมีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum* spp. 4 สปีชีส์คือ *Colletotrichum gloeosporioides, Colletotrichum capsici, Colletotrichum acutatum* และ *Colletotrichum coccodes* (Hadden และ Black, 1987) โรคแอนแทรคโนสของพริกในประเทศไทยพบว่าเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum capsici* และ *Colletotrichum gloeosporioides* (วงเดือน สุวรรณชาติ, 2545) *Colletotrichum capsici* สามารถทำให้เกิดความเสียหายบนผลพริกมากกว่า *Colletotrichum gloeosporioides* เชื้อรา *Colletotrichum capsici* สามารถเข้าทำลายได้รุนแรงในช่วงอุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส (ศักดิ์ สุนทรสิงห์, 2537) นอกจากนี้โรคแอนแทรคโนสเป็นโรคที่แพร่ระบาดได้รวดเร็ว และมักเป็นขณะที่ผลเจริญเติบโตเกือบเต็มที่ การเข้าทำลายเริ่มจากสปอร์ที่ตกลงบนผิวพืชจะงอก germ tube หลังจากนั้นจะสร้าง appressorium เกาะยึดผนังของเซลล์พืช และสร้างinfection tube แทงเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชและเริ่มทำให้เกิดบาดแผลพร้อมกับสร้าง acervuli ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสปอร์ (Bailey และ Jeger, 1992) เชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสนั้นมีการเข้าทำลายแบบแฝง (latent infection) ได้ในผล

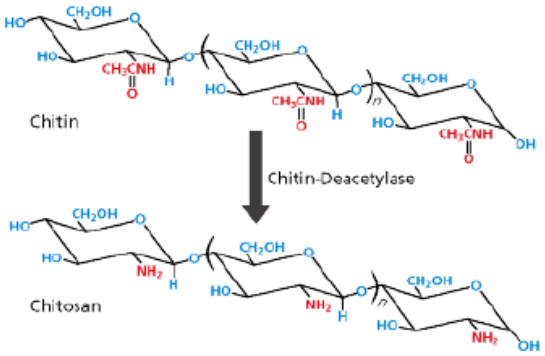
พริกดิบ โดยสปอร์ของเชื้อที่งอกบนผิวจะสร้าง appressorium แล้วเชื้อจะหยุดการเจริญจนผลสุก จึงมีการเจริญต่อ การที่เชื้อไม่เข้าทำลายผลพริกดิบเนื่องจากพริกสีเขียวจะมีสาร phytoalexin ซึ่งเป็นสารพิษต่อเชื้อรา คือ สาร capsicannol และพบว่าความเข้มข้นของสาร capsicannol ในผลสุกต่ำกว่าในผลดิบ เมื่อผลพริกสุกความเข้มข้นของสารดังกล่าวจะลดลงจนไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ ทำให้ผลพริกแสดงอาการของโรค (Adikaram และคณะ, 1982)

การควบคุมโรคแอนแทรคโนส

การป้องกันและกำจัดโรคแอนแทรคโนสของพริกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำลายส่วนที่เป็นโรคโดยการนำไปเผาทิ้ง การไม่ใช้เมล็ดที่เป็นโรคมาปลูก การปลูกพืชหมุนเวียน ไม่ปลูกพืชในแหล่งที่เคยเป็นโรคมาก่อน การแช่เมล็ดในน้ำอุ่น 49 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที การฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดเชื้อรา เช่น เดอโรแซน เบนเลท 75 ซี หรือ ออกเทน พ่นทุก 7 วันต่อครั้ง ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ผลจากการใช้สารเคมีอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นอันตรายต่อเกษตรกรผู้ใช้และผู้บริโภค (ลักษณา วรรณภีร์, 2536) การควบคุมโรคโดยใช้วิธีเขตกรรม เป็นการปฏิบัติด้วยการปรับสภาพแปลงปลูกไม่ให้เหมาะต่อการเข้าทำลายของเชื้อ เช่นการจัดการให้มีการระบายน้ำที่ดี มีอากาศถ่ายเทที่ดี ทำให้ต้นพืชไม่เปียกชื้น การใช้พันธุ์ต้านทานและการควบคุมโรคโดยชีววิธีโดยใช้ซึ่งวิธีที่กล่าวมานั้น สามารถลดความเสียหายที่เกิดจากการเข้าทำลายจากเชื้อสาเหตุของโรคได้ (ไพโรจน์ จ๋วงพานิช, 2525)

การควบคุมโรคโดยใช้ไคโตแซน

ไคโตแซนนั้นเป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคตินที่ได้จากการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีโดยการทำปฏิกิริยาดีอะซิทิลเลชั่น (Deacetylation reaction) เพื่อเปลี่ยนหมู่อะเซตาไมด์ (Acetamide group) ของไคตินเป็นหมู่อะมิโน (Amino group) ทำให้เกิดเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีประจุบวกบนหมู่อะมิโนอิสระ มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ ที่เป็นวัสดุชีวภาพ (Biometerials) ย่อยสลายตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ (non–phytotoxic) ต่อพืช



รูปที่ 2.1 โครงสร้างไคตินและไคโตแซน

ที่มา: ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธ์ (2543)

นอกจากนี้ยังส่งเสริมการเพิ่มปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ การแบ่งแยกไคตินกับไคโตแซนจะอาศัยจำนวนหมู่เอมีน ถ้ามีหมู่เอมีนมากกว่าร้อยละ 70 จะเรียกว่าไคโตแซน (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธ์, 2543) ไคโตแซนสามารถยับยั้งเชื้อโรคและกระตุ้นความต้านทานโรคให้กับพืช โดยมีผลในการยับยั้งเชื้อสาเหตุของโรคพืช ได้แก่ เชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด โดยไคโตแซนจะซึมผ่านเข้าทางผิวใบ ลำต้นพืช ช่วยยับยั้งการเกิดโรคพืชในกรณีที่เกิดเชื้อโรคพืชแล้ว (รักษาโรคพืช) และสร้างความต้านทานโรคให้กับพืชที่ไม่ติดเชื้อ โดยไคโตแซนมีคุณสมบัติที่สามารถออกฤทธิ์เป็นตัวกระตุ้น (elicitor) ต่อพืชได้ จะกระตุ้นระบบป้องกันตัวเองของพืช ทำให้พืชผลิตเอนไซม์และสารเคมีเพื่อป้องกันตนเองหลายชนิด พืชจึงลดโอกาสที่จะถูกคุกคามโดยเชื้อสาเหตุโรคพืช นอกจากนี้พบว่าไคโตแซนเป็นตัวเหนี่ยวนำให้สร้างเอนไซม์ Chitinase และ β-1,3-glucanase ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองสามารถเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไคตินและกลูแคน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เชื้อราส่วนใหญ่ เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคพืชได้ ไคโตแซนมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatible) และสามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ (biodegradable) จึงถือได้ว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีสมบัติพื้นฐานที่เข้ากับธรรมชาติได้ดี ย่อยสลายง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (ปิยะบุตร วานิชพงษ์นธ์, 2543) Young และ Kauss (1983) พบว่าไคโตแซนเป็นตัวส่งสัญญาณให้เกิดการทำงานของ secondary messenger อาศัย Ca^{2+} เป็นตัวกลางเข้ามาเกี่ยวข้องกับการทำงาน ถูกนำมาจากผนังเซลล์หรือพลาสมาเมมเบรน โดยจะเข้าไปมีบทบาทในกลไกการทำงานของ secondary messenger นอกจากนี้ไคโตแซนยังเป็นตัวชักนำการสร้างเอนไซม์ระดับยีน เพื่อทำลายผนังของเซลล์ของเชื้อราซึ่งส่วนใหญ่มีไคติน เป็นองค์ประกอบภายในเวลา 4 ถึง 6 ชั่วโมง จากนั้นการสังเคราะห์เอนไซม์จะลดลง และเข้าสู่ภาวะปกติ (Kendra และ Hadwiger, 1987) จากการศึกษา

ของ Ghaouth และคณะ (1990) โดยนำผลสตอร์เบอร์รี่สดที่ปลูกถ่ายเชื้อรา *Botrytiscinerea* และ *Rhizopus stolonifer* แล้วเคลือบด้วยไคโตแซนร้อยละ 1.0 และ 1.5 พบว่าการเกิดโรคจากเชื้อทั้งสองลดลง และกลไกการเกิดโรคจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นตัวยับยั้งเชื้อรา นอกจากความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของ Chitinase, Chitosanase และ β-1,3-glucanse ไคโตแซนยังมีผลอย่างมากในการยับยั้งการงอกของสปอร์ และการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 นี้ ในอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกับ Hirano และคณะ (1996) ศึกษาผลของไคโตแซนต่อการตอบสนองของเซลล์เนื้อเยื่อของเมล็ดถั่วเหลือง พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ Chitinase ในปริมาณสูง ซึ่งเอนไซม์ Chitinase เป็น PRโปรตีน ที่มีหน้าที่ป้องกันพืชจากการรุกรานของเชื้อรา Jianming และคณะ (1998) ศึกษาการยับยั้งการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *B. cinerea* ของผลแอปเปิลพันธุ์ Jonagold ที่เคลือบด้วยไคโตแซน โดยพิจารณาภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning electron microscope) พบว่า ไคโตแซนสามารถยับยั้งการงอกของ conidia และการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา *B. cinerea* ได้โดยให้เหตุผลไว้ 2 ประการ คือ ประการที่ 1 การสร้างสาร phytoalexin และเอนไซม์บางชนิดซึ่งถูกกระตุ้นโดยไคโตแซน ให้ไปยับยั้งการงอกของ conidia และประการที่ 2 คือ ลักษณะผิวที่ตึงเรียบ ไม่มีรอยแตกของผลแอปเปิลที่เคลือบไคโตแซนมีผลทำให้การเจริญของเส้นใยเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก นอกจากไคโตแซนมีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยตรงแล้ว ยังสามารถกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชให้เกิดความต้านทานต่อโรคขึ้นได้ การใช้ไคโตแซนซึ่งเป็นสารธรรมชาตินั้นจะไม่ส่งผลเสียต่อผู้บริโภคนอกจากผลไม้แล้วยังได้มีการทดลองนำมาเคลือบผิวของผักจำพวกมะเขือเทศ แตงกวา และพริกหยวก พบว่าสามารถลดอัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ และอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีนด้วย นอกจากนี้ ไคโตแซนชนิดฟิล์มยังเป็นตัวกั้นการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ผักและผลไม้คงความกรอบ ผิวไม่เหี่ยว และสีไม่เปลี่ยนอีกด้วย และถ้าเคลือบบนเครื่องเทศยังสามารถลดการสูญเสียกลิ่นของเครื่องเทศจากการเกิดสเตอริไรซ์ด้วยไอน้ำ (Shahidi และคณะ, 1999) จากการทดลองของ Ben-Shalom และคณะ (2002) โดยทำการศึกษาในต้นแตงกวาโดยทำการฉีดพ่นไคโตแซนเป็นเวลา 1, 4, 24 ชั่วโมงก่อนการปลูกเชื้อ *B. cinerae* และหลังทำการปลูกเชื้อ *B. cinerae*ในแปลงปลูกจากนั้นพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค พบว่าการฉีดพ่นไคโตแซนก่อนการปลูกเชื้อ*B. cinerae* นาน 24 ชั่วโมง สามารถควบคุมโรคได้ดีที่สุด และการฉีดพ่นไคโตแซนหลังการปลูกเชื้อ*B. cinerae* ทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมง สามารถควบคุมการเกิดโรคได้ดีที่สุด จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นไคโตแซนเป็นเวลานานก่อนการปลูกเชื้อนั้นสามารถควบคุมโรคได้ดี ส่วนการฉีดพ่นไคโตแซนหลังการปลูกเชื้อจะสามารถควบคุมโรคได้ดีเมื่อฉีดพ่นไคโตแซนทันทีภายหลังการปลูกเชื้อ จากนั้นทำการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ chitosanase และ peroxidase ในต้นแตงกวาที่ไม่ปลูก

เชื้อ *B. cinerae* ฉีดพ่นด้วยไคโตแซน และต้นแตงกวาที่ปลูกเชื้อ *B. cinerae* แล้วฉีดพ่นด้วยไคโตแซนจากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าไคโตแซนสามารถชักนำกิจกรรมของเอนไซม์ chitosanase ได้ดีกว่าชุดควบคุม ทั้งในต้นแตงกวาที่ปลูกเชื้อ *B. cinerae* และไม่ปลูกเชื้อ *B. cinerae* แสดงให้เห็นว่าไคโตแซนสามารถชักนำการทำกิจกรรมของเอนไซม์ chitosanase ส่วนเอนไซม์ peroxidase พบว่าไคโตแซนไม่สามารถชักนำกิจกรรมของเอนไซม์ได้ในกรณีที่ไม่ทำการปลูกเชื้อ *B. cinerae* แต่ในกรณีที่ทำการปลูกเชื้อ *B. cinerae* พบว่าจะมีการทำกิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าไคโตแซนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถชักนำกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ peroxidase น่าจะมาจากการปลูกเชื้อในส่วนของการใช้อนุพันธ์ไคติน-ไคโตแซนเพื่อต่อต้านเชื้อรา ป้องกันแมลง และสร้างภูมิต้านทานต่อโรคนั้น ไคโตแซนจะแทรกซึมเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็ว เมื่อเซลล์พืชสัมผัสกับไคโตแซนแล้วจะมีผลต่อยีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมการเจริญเติบโตและความต้านทานโรคพืช (Disease resistanceresponse gene, DRR) เช่น การผลิต lignin และ tannin มากขึ้น เพื่อป้องกันตัวเองจากการกัดทำลายของแมลงศัตรูพืช โดยเมื่อพืชได้รับสารอนุพันธ์ไคติน-ไคโตแซนประมาณ 2-4 สัปดาห์ จะมีความแข็งแรงของลำต้น กิ่ง และใบ โดยเฉพาะทางใบจะพบแวกซ์ (wax) เคลือบที่ผิวใบ (สถิต พูลทรัพย์, 2543) จากการทดลองของ ธวัช หะหมาน (2545) และ สมศิริ แสงโชติ (2545) โดยนำเชื้อ *C. gloeosporioides* ไปผสมกับไคโตแซนที่ความเข้มข้น 100-6,400 μg/ml แล้วปรับ pH ให้อยู่ที่ 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5 นำไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อนำไปบ่มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปรากฏว่าไคโตแซนที่ความเข้มข้น 800 μg/ml ที่ pH 4.5 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด จากนั้นนำไคโตแซนที่ความเข้มข้น 800 μg/ml ที่ pH 4.5 มาทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *C. gloeosporioides* ในมะม่วง โดยนำมะม่วงมาจุ่มในสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นดังกล่าวแล้วนำไปปลูกเชื้อที่วันที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของการจุ่มพบว่าสารละลายไคโตแซนมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคสูงที่สุดหลังการปลูกเชื้อทันทีคือที่ 0 วันไคโตแซนสามารถยับยั้งความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสจากการเข้าทำลายทางบาดแผลของ เชื้อรา *C gloeosporioides* ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 2.0 สามารถยับยั้งความรุนแรงของโรคได้ดีที่สุด ในขณะที่มะม่วงที่ปลูกเชื้อโดยไม่ทำแผลแล้วเคลือบด้วยไคโตแซนพบว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 สามารถควบคุมโรคได้ โดยไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1.0 สามารถลดความรุนแรงของโรคได้และไม่ทำให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก ในขณะที่ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2.0 ทำให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก นอกจากนี้ไคโตแซนยังสามารถชักนำการสร้างเอนไซม์ Chitinase และ β-1,3-glucanse ในผลมะม่วงขึ้นเพื่อใช้ในการป้องกันตนเองจากการเข้าทำลายของเชื้อ โดยปกติเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีผลในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อรา (สุดคนึง พึ่มชัย, 2546)

พันธุ์พริกที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนส

เชื้อรา *Colletotrichum capsici* และ *Colletotrichum gloeosporioides* สามารถทำให้เกิดโรคกับผลสุกได้กับพริกทุกพันธุ์ แต่ความรุนแรงต่างกัน (Higgins, 1923) โดยพริกหวานสายพันธุ์ *Capsicum annuum* Chinese Giant, Yolo Y, Hungarian Yellow Wax, Spartan Emerald และ Paprika ต้านทานต่อโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum capsici* (Bassett, 1986) สำหรับในประเทศไทย สมศิริ จิ๋วสกุล (2521) ได้ศึกษาเชื้อกับพริกพันธุ์ต่างๆ พบว่า *Colletotrichum capsici* จะทำให้เกิดโรคอย่างรุนแรงในพริกหยวกและพริกเหลือง ส่วนพริกที่เกิดโรคน้อยที่สุด คือ พริกขี้หนู นอกจากนี้พริกบางช้างและพริกเหลืองมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคสูง ส่วนพริกจินดา พริกห้วยสีทน และพริกหัวเรือ มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคต่ำ (บุญญวดี จิรวุฒิ, 2540) และยังมีรายงานอีกว่าจากการศึกษาการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อรา *C. capsici* บนผลพริก 18 สายพันธุ์ คือ พริกเหลือง พริกบางช้าง พริกห้วยสีทน พริก CA367 พริก CA373 พริก CA398 พริก CA426 พริก CA428 พริก CA446 พริก CA500 พริก CA514 พริก CA617 พริก CA649 พริก CA650 พริก CA651 พริก FNL2-10-1 พริก NH-3 และพริก Punjab พบว่าพริกพันธุ์ต้านทาน คือ พริกพันธุ์ห้วยสีทนและพันธุ์พริก CA446 ส่วนพันธุ์อ่อนแอ คือพริกพันธุ์บางช้าง ซึ่งพริกพันธุ์ต้านทานมีกระบวนต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อที่แตกต่างกัน เช่นการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อ และตรวจไม่พบการสร้าง callose, lignin และ polyphenolic compound (รัตตา เอนกธนโชติ, 2542) ซึ่งปกติแล้วสารเหล่านี้จะเพิ่มสูงขึ้นในเนื้อเยื่อพืชที่ได้รับความเสียหายจากโรคหรือบาดแผล (Uritani และ Oba, 1978)

การชักนำความต้านทานโรคพืช

การศึกษากลไกความต้านทานโรคที่เกิดจากการชักนำโดย Biotic elicitors และ Abiotic elicitors พืชมักจะพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของ Pathogenesis-Related (PR) proteins ซึ่งการค้นพบ PR proteins ในครั้งแรกนั้นเกิดจากการที่เซลของพืชเกิดการตอบสนองต่อการเข้าทำลายของเชื้อไวรัส TMV ทำให้เซลบริเวณนั้นเกิดการตายอย่างรวดเร็ว (Hypersensitive response, HR) และส่งผลให้เกิดความต้านทานหรือภูมิคุ้มกันต่อเชื้อสาเหตุโรคชนิดอื่นๆ ขึ้นได้ทั่วทั้งต้นพืช ซึ่งเราเรียกความต้านทานโรคของพืชแบบนี้ว่า Systemic Acquired Resistance (SAR) (Christ และ Mosinger, 1989; Van Loon และคณะ, 1994) โดยปกติการเกิด SAR ในใบเลี้ยงคู่มักเกิดจากการที่พืชมีการสะสม salicylic acid เพิ่มมากขึ้น และการศึกษาความต้านทานแบบ SAR มักจะใช้การแสดงออกของ PR protein genes เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงการเกิด SAR (SAR marker genes) ในพืช (Ward และคณะ, 1991) จากการศึกษาในพืชชนิดต่างๆ พบว่ามี PR protein families ชนิดต่างๆ

ไม่น้อยกว่า 14 ชนิด (Chen และคณะ, 2006) ได้แก่ Chitinase 4 families (PR-3, PR-4, PR-8, PR-11), β-1,3-Glucanase 1 family (PR-2), Proteinase inhibitors 1 family (PR-6), Specific peroxidase 1 family (PR-9), PR-1 family ซึ่งยังไม่ทราบคุณสมบัติทางชีวเคมีที่แท้จริง, thaumatin-like PR-5 family, Birch allergen Betv1-related PR-10 family, Germins (germination-specific proteins, PR-15) และ GLPs (germin-like proteins, PR-16) เป็นต้น (Wei และคณะ, 1998; Zhang และคณะ, 1995) และในการศึกษาด้าน SAR ของพืชนั้นนิยมใช้ Chitinase และ β-1,3-Glucanase เป็นตัวแทนของการสะสม PR protein ของพืช ซึ่งทั้ง Chitinase และ β-1,3-Glucanase นั้นเป็นเอนไซม์ที่สำคัญและมีคุณสมบัติย่อย chitin ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลเชื้อรา (Hong และคณะ, 2000)

ความต้านทานแบบ SAR ที่เกิดจากการกระตุ้นด้วย Biotic elicitors เช่น เชื้อรา เชื้อไวรัส หรือแบคทีเรีย เป็นต้น มีการรายงานโดย Honson และคณะ (2000) และ Howell และคณะ (2000) พบว่าการใช้เส้นใยของเชื้อรา *Trichoderma viren* คลุกเมล็ดฝ้าย มีผลทำให้ต้นกล้าฝ้ายเกิดความต้านทานแบบ SAR ซึ่งทำให้ต้นกล้าฝ้ายต้านทานต่อเชื้อ *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfestum* และ *Verticillium dahliae* Kleb. ได้ ต่อมา Chen และคณะ (2006) พบว่าต้นกล้าฝ้ายที่ฉีดพ่นด้วยสารแขวนลอยของเส้นใยของเชื้อรา *Penicillium chrysogenum* (ที่ทำให้แห้งก่อนฉีด) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยกระตุ้นให้พืชมีการสะสมของ PR proteins ถึง 6 ชนิดคือ PR-1a, PR-1b, PR-2 (β-1,3-glucanase), PR-3 (Chitinase), Acid chitinase และ Basic chitinase การศึกษาการแสดงออกของยีน Chitinase ในพริกโดย Hong และคณะ (2000) พบว่าการปลูกเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* และเชื้อรา *Phytophthora capsici* ลงบนพริก พบว่ามีผลทำให้พริกมีการแสดงออกของ chitinase gene เพิ่มสูงขึ้น

สารเคมีหลายชนิดที่มีคุณสมบัติเป็น Abiotic elicitors ได้ เช่น Chitosan (Benhamou, 1996; El Ghaouth และคณะ,1997), Probenzole (PBZ) (Watanabe, 1997), Benzo-(1,2,3) thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester (BTH) (Sparla และคณะ, 2004; Friedrich และคณะ, 1996; Metraux และคณะ, 1990) , Acibenzolar-*S*-methly (ASM) (Perez และคณะ, 2003; Cole, 1999), Methyl jasmonate (Bailey คณะ, 2005), Salicylic acid (Saikia และคณะ, 2003), 2,6-Dichloroisonicotinic acid (INA), β-amino butyric acid (BABA) (Cohen และคณะ, 1994), Mercuric chloride (Kim และ Hwang, 1996), Ethelene (Hong และคณะ, 2000; Bailey คณะ, 2005) อย่างไรก็ตามความต้านทานแบบ SAR ที่เกิดจากการกระตุ้นโดย INA และ BTH นี้จะพบการแสดงออกของ PR genes แต่จะไม่พบการสะสม salicylic acid ในพืช (Nakashita และคณะ, 2002)

ไคโตแซน (chitosan) เป็นสารธรรมชาติที่ปราศจากพิษสกัดได้จากเปลือกกุ้ง ปู หอย หรือแกนของปลาหมึก มีรายงานว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อรา (antifungal) โดยตรงและยังสามารถชักนำให้พืชสร้างภูมิต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชได้อีกด้วย (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2544a; Hirano และคณะ, 1990) บทบาทของไคโตแซนในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยตรงคือ ปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกบนโมเลกุลของไคโตแซนกับประจุลบบน cell membrane ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการแตกของผนังเซลล์ และจุลินทรีย์จะตายในที่สุด นอกจากนี้ไคโตแซนยังเป็นสาร chelating agent ที่สามารถเกาะติดกับโลหะที่จำเป็นของเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้เกิดการขัดขวางการผลิตสารพิษและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (สุวลี, 2544b) ส่วนบทบาททางอ้อมของไคโตแซนคือการชักนำความต้านทานโรคพืช โดยปกติการชักนำความต้านโรคของพืชเกิดขึ้นได้หลังจากพืชถูกเชื้อเข้าทำลายในช่วงแรก หรือถูกชักนำได้เมื่อพืชได้รับสภาวะเครียดเช่น การเกิดบาดแผลเนื่องจากการกัดกินของแมลง การปฏิบัติทางเขตกรรม หรือการได้รับสารเคมี ซึ่งจะไปมีผลกระตุ้นให้พืชผลิตโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรค (Pathogenesis-Related proteins) เช่น Chitosanase, Peroxidase หรือ β-glucanase และในพืชชั้นสูงสามารถกระตุ้นการสร้างสารที่เป็นพิษต่อเชื้อโรค เช่น Phytoalexins หรือ Lignin (Mauch และ Stachlin, 1989) โดยที่ สุวลี จันทร์กระจ่าง(2544a) กล่าวว่า Hadwiger และคณะได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของไคโตแซนกับเชื้อรา *Fusarium solani* สาเหตุโรคใน pea พบว่าเมื่อไคโตแซนสัมผัสกับพืชอาศัย จะทำให้พืชอาศัยผลิตเอนไซม์ Chitinase และ β-1, 3-glucanase ซึ่งทำหน้าที่ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราให้แยกออกจากกัน ทำให้ได้ oligomers ของไคโตแซนเป็นผลผลิตออกมาและ oligomers เหล่านี้จะไปกระตุ้นให้พืชอาศัยสร้างสารต่อต้านการเจริญเติบโตของเชื้อราที่เข้ามาบุกรุกได้ Ben-Shalom และคณะ (2003) รายงานว่าไคโตแซนชักนำความต้านทานโรคให้กับพืชก่อนการเข้าทำลายของเชื้อได้ดีกว่าการใช้หลังจากถูกเชื้อเข้าทำลายไปแล้ว โดยทดลองใช้ ในการควบคุมโรคราสีเทาของต้นแตงกวาที่มีเกิดจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* และพบว่าต้นแตงว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ chitosanase และ peroxidase สูงกว่าต้นที่ไม่ได้รับ chitosan

Benzolthiadiazole (BTH หรือ Benzo-(1,2,3) thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester) เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น SAR activator (Siegrist และคณะ, 1998) สามารถกระตุ้น signal transduction ของการเกิด SAR ได้ในยาสูบและแตงกวา (Friedrich และคณะ, 1996; Metraux และคณะ, 1990) นอกจากนี้ Colson-Hanks และ Deverall (2000) ได้ทดลองใช้ BTH กับต้นฝ้าย พบว่า BTH มีผลช่วยกระตุ้นในฝ้ายต้านทานต่อโรคได้แบบไม่จำเพาะเจาะจงคือทำให้การเกิดโรค Verticillium wilt และ Alternaria leaf spot ลดน้อยลง Katz และคณะ (1998) BTH

สามารถชักนำให้ parsley cells สร้างภูมิต้านทานต่อโรคได้ โดยพบว่ามีผลทำให้เกิดการแสดงออกของ defense genes เพิ่มมากขึ้น Bertini และคณะ (2003) พบว่าต้นข้าวสาสีที่ได้รับ BTH จะมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา Fusarium culmorum ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากพืชมีการสังเคราะห์ PR protein ชนิด PR-4 (chitinase) เพิ่มมากขึ้นนอกจากนี้เคยมีการทดลองใช้ BTH เพื่อควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวด้วย เช่น Lui และคณะ (2005) ได้ทำการจุ่มผลพืชที่เก็บเกี่ยวทันทีในสารละลาย BTH ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 5 นาที และบ่มต่อที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสนาน 60 ชั่วโมง ก่อนนำมาปลูกเชื้อรา *Penicillium expansum* ผลปรากฏว่าผลพืชที่จุ่มใน BTH มีความรุนแรงของการเกิดโรคน้อยกว่าผลพืชที่ไม่ได้จุ่ม และยังพบอีกว่าผลพืชที่จุ่มใน BTH มีกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonialyase (PAL, polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), สารประกอบฟีนอลและ hydrogen peroxide (H2O2) ที่สูงกว่าผลพืชที่ไม่ได้จุ่ม BTH อีกด้วย

กิจกรรมของเอนไซม์ที่มีผลต่อความต้านทานโรค

Phenylalanine ammonia lyase เป็นเอนไซม์ตัวแรกใน phenylpropanoid pathway ที่มีความสัมพันธ์ในการผลิตสารประกอบ phenolic และสาร phytoalexin ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค เช่น การเกิดขึ้นของ lignin ในเนื้อเยื่อพืชที่ได้รับความเสียหายจากโรคหรือบาดแผล (Uritani และ Oba, 1978) การเพิ่มขึ้นของ lignin ในเนื้อเยื้อพืชที่ได้รับความเสียหายซึ่งเกิดจากกลไกการป้องกันตัวเองของพืช (Ride, 1978) การสะสมลิกนินที่เซลล์ชั้นผิวจะทำให้เนื้อเยื่อมีความต้านทานต่อเชื้อมากขึ้น เพราะ lignin ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อเยื่อ (Lewis และ Yamamoto,1990) การสังเคราะห์ lignin นั้นเริ่มจากการสังเคราะห์สารประกอบ phenolic โดยมีสารตั้งต้นคือกรดอะมิโนฟีนิลอะลานินจะเปลี่ยนไปเป็นกรดซินนามิก แล้วเปลี่ยนเป็นกรดคูมาริก กรดคาเฟอิกกรดเฟอรูริค กรดซินาปิก ซินนาโมอิลโคเอเอสเทอร์ ซินนามิกอัลดีไฮด์ และสุดท้ายเปลี่ยนไปเป็นซินนามิกแอลกอฮอล์ แล้วจึงเกิดการโพลิเมอร์ไรเซชันเป็นลิกนิน ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ลิกนินมีเอนไซม์หลายชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่เอนไซม์ที่สำคัญ คือ Phenylalanine ammonia lyase โดยเอนไซม์นี้จะดึงหมู่อะมิโนออกจาก Phenylalanine ammonia lyase ได้เป็นกรดซินนามิก (Vance และคณะ,1980) การศึกษาของ Sharp และคณะ (1990) พบว่าไม่มีความแตกต่างของกิจกรรมของเอนไซม์ Phenylalanine ammonia lyase ในใบถั่วที่ปลูกเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* เมื่อเทียบกับในใบปกติ ซึ่งให้ผลขัดแย้งกับรายงานของ Lawton และคณะ (1983) ที่พบกิจกรรมของเอนไซม์ Phenylalanine ammonia lyase เพิ่มขึ้น 8-9 เท่าในถั่วที่แสดงอาการของโรคแอนแทรคโนส Peroxidase เป็น oxidative enzyme ที่ทำหน้าที่ควบคุมเมตะบอลิซึมที่สำคัญในปฏิกิริยาการ

ตอบสนองทางสรีระวิทยาของพืชต่อสิ่งแวดล้อมหรือต่อเชื้อโรคที่เข้ามากระตุ้น ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของสารพันธุกรรม การเพิ่มระดับเมตะบอลิซึมของเซลล์มักเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลง permeability ของเยื่อหุ้มเซลล์ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของ organelles ภายในเซลล์ ซึ่งมีผลต่อสารประกอบต่างๆ ในเซลล์ และส่งผลต่อสภาพความสมดุลของพืชทั้งต้นทำให้เกิดปฏิกิริยาป้องกันตนเองหรือต้านทานต่อสิ่งที่เข้ามากระตุ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรค บาดแผล หรือ สภาพแวดล้อมต่างๆ Peroxidase ประกอบด้วยไอโซเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดอาจมีคุณสมบัติทางชีวเคมีที่แตกต่างกัน เช่น กิจกรรมที่เฉพาะเจาะจงต่อ substrate affinity, cofactor, ความไวต่อการยับยั้ง และความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม Peroxidase อาจมีหน้าที่แตกต่างกันไปในขบวนการ เมตะบอลิซึมของเซลล์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อยู่ภายในเซลล์ เช่น Peroxidase ที่อยู่ในนิวเคลียสอาจเกี่ยวข้องกับการจัดโครงสร้างโครโมโซมโดยทำหน้าที่คล้าย histone ซึ่งมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ mRNA โดยเอนไซม์ DNA-dependent RNA polymerase ส่วนในmitochondria พบว่า Peroxidase เกี่ยวข้องกับกิจกรรม diaporase และเกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งอิเลคตรอนจาก NADH2 ไปสู่ cytochome C ใน ribosome Peroxidase จะมีบทบาทในการสังเคราะห์ribosome ใหม่ โดยกระตุ้นการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องในผนังเซลล์ Peroxidase จะมีบทบาทในการสร้าง lignin และการสร้าง hydroxyproline ภายในเซลล์พืช เอนไซม์นี้จะมีหน้าที่เป็น IAA oxidase ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกถึงคุณสมบัติของ IAA ในเนื้อเยื่อ (พรทิพย์ วงศ์แก้ว, 2533) ซึ่งในหลายๆการทดลองพบว่ากิจกรรมของ Peroxidase เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคของพืช ซึ่งถ้ามีการยับยั้งปฏิกิริยา oxidative ของ Peroxidase จะทำให้พืชอ่อนแอต่อเชื้อโรคแสดงว่า Peroxidase มีส่วนเกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตัวเองของพืช Ye และคณะ (1990) พบว่ายาสูบพันธุ์ Ky14 ที่ได้จากการปลูกเชื้อที่ใบด้วย *Peronospora tabacina* และเชื้อไวรัส TMV จะมีกิจกรรมของ Peroxidase สูงกว่ายาสูบปกติ และเกิดการชักนำให้พืชต้านทานต่อเชื้อทั้ง 2 ชนิด

Reuveni และ Ferreira (1985) พบว่ามะเขือเทศพันธุ์ต้านทานที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase มากกว่าของพันธุ์อ่อนแอ และเมื่อนำราก ใบ และลำต้นของมะเขือเทศ มาทำการปลูกเชื้อ พบว่าปฏิกิริยาของเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น ทั้งในพันธุ์อ่อนแอและพันธุ์ต้านทานจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Peroxidase กับเชื้อโรคราสนิมในระดับเซลล์ของข้าวบาร์เลย์แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของ Peroxidase ใน epidermal และ guard cell มีการตอบสนองต่อเชื้อทั้งแบบรุนแรงและไม่รุนแรง ส่วนใน mesophyll ที่กำลังเกิดอาการแห้งตายมีการตอบสนองต่อเชื้อแบบไม่รุนแรงเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาของเอนไซม์ Peroxidase อาจจะมีผลต่อการแสดงความต้านทานโรคของพืช (Southerton และ Deverall, 1990) Chitinase และ β-1,3-glucanase พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่โดยทำงานร่วมกันแบบSynergistic

ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา Chitinase นั้นจะย่อยไคตินโมเลกุลเล็ก ส่วน β-1,3-glucanase ย่อยสับสเตรทที่มีพันธะ β-1,3-glucan ได้แก่ ลามินาริน และซีเอ็ม-พาไคแมน (Young และ Pegg, 1981) Chitinase สามารถแบ่งตามลำดับของกรดอะมิโนได้ 3 กลุ่ม คือ (Meins และคณะ, 1992) กลุ่มที่ 1 เป็น Chitinase ที่มีลำดับของกรดอะมิโนซิตเตอีนอยู่ปริมาณมากด้านปลายเอ็นมีค่า isoelectric point สูงอยู่ที่ pH 9 เอนไซม์กลุ่มนี้เป็น basic Chitinase กลุ่มที่ 2 เป็น Chitinase ที่มีคุณสมบัติเป็น PR-protein มีลำดับกรดอะมิโนคล้ายกับกลุ่มที่ 1 และมีส่วนขยายทางปลายด้านซีสั้น แต่ปลายเอ็นไม่มีกรดอะมิโนซิสเตอีน ส่วนใหญ่จะมีค่า isoelectric point ต่ำกว่า pH 5 เอนไซม์กลุ่มนี้เป็น acidic chitinase กลุ่มที่ 3 เป็น Chitinase ที่มีลำดับกรดอะมิโนต่างจากกลุ่ม 1 และ 2 โดยเอนไซม์กลุ่มนี้มีทั้ง acidic Chitinase และ basic Chitinase โดย Chitinase ทั้ง 3 กลุ่มมี signal peptide ทางด้านปลายเอ็น และถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก endoplasmic reticulum ชนิดที่ไม่มีไรโบโซมเกาะอยู่ที่ผิว-1,3-glucanase จัดอยู่ในกลุ่มของเอนไซม์ hydrolase มีความสามารถในการย่อยสลายพันธะ β-1,3-glucan ของสับสเตรทชนิดต่างๆ เช่น laminarin ที่ได้จากการย่อย laminaria digitata แต่ไม่สามารถย่อยสับสเตรทที่เป็นพันธะ β-1,6 หรือ พันธะ β-1,4 ได้โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ exo-β-1,3-glucanase และ endo β-1,3-glucanase (Young และ Pegg, 1981)exo-β-1,3-glucanase เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะ β-1,3-glucan โดยจะเริ่มย่อยสลายพันธะของโมเลกุลของน้ำตาลที่อยู่นอกสุดบนสายโพลีเมอร์ของกลูแคนได้ผลิตภัณฑ์เป็น glucose และ oligosaccharides ชนิดต่างๆ Endo-β-1,3-glucanase เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะของ exo-β-1,3-glucan แบบสุ่มได้ผลิตภัณฑ์เป็น (1,3)-β-D-oligosaccharides ที่มี degree of polymerization ต่างๆ กัน Chitinase และ β-1,3-glucanase นั้นมีความสัมพันธ์กับระบบความต้านทานโรคในพืช ซึ่งเป็นเอนไซม์จำพวก lytic enzyme ในพืชถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นจากชิ้นส่วนของเชื้อราหรือเรียกว่า elicitors เป็นสาเหตุหนึ่งในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองการต่อต้าน (defense reaction) ของพืชเพื่อป้องกันการรุกรานของเชื้อโรค เอนไซม์หรือโปรตีนที่ถูกสร้างขึ้นในปฏิกิริยาตอบสนองนี้เรียกว่าpathogenesis related protein (PR-proteins)PR โปรตีน (pathogenesis-related proteins) จัดเป็น phytoalexins เป็นสารโมเลกุลเล็กซึ่งมีคุณสมบัติเป็น antimicrobial micromolecules ที่จะไม่สร้างในพืชปกติ แต่จะมีการสร้างเพิ่มขึ้นเมื่อมีการรุกรานของเชื้อโรค PR โปรตีนที่สำคัญ ได้แก่เอนไซม์ 2 ชนิด คือ Chitinase และ β-1,3-glucanase ซึ่งทั้ง PRโปรตีนและ phytoalexins พบในพืชหลายชนิดด้วยกัน พบทั้งในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่โดยสามารถสร้างขึ้นได้เมื่อเกิดการเข้าทำลายของเชื้อ การเกิดบาดแผล การเกิดภาวะกดดันจากสารเคมีและสิ่งแวดล้อม (David และคณะ, 1993) ซึ่ง PR โปรตีน นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้กลุ่มที่ 1 เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยตรงของ extra cellular matrix และการตอบสนองของพืชในการบุก

รุกของเชื้อโรคโดยการสร้างความแข็งแรง การซ่อมแซมหรือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์เพื่อต่อต้านการบุกรุกดังกล่าว ตัวอย่างโปรตีนกลุ่มนี้ได้แก่ กลุ่มของโปรตีนโครงสร้าง เช่น Hydroxyproline-rich glycoproteins และ gylcine-rich protein และกลุ่มของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น suberin, lignin, wall-bound phenolics และ callose กลุ่มที่ 2 เป็นโปรตีนที่มีหน้าที่เป็นตัวยับยั้งโดยตรง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้หรือเร่งรัดการสังเคราะห์สารที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคตัวอย่าง โปรตีนกลุ่มนี้ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์ที่เป็นตัวยับยั้ง (inhibitors) เช่น amylase และ proteinase ตัวยับยั้งที่เป็น toxic protein เช่น lectins และthionin และที่เป็น hydrolases เช่น Chitinase และ β-1,3-glucanase นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับสังเคราะห์ oxidized phenolics, tannins, *O*-quinones และสารโมเลกุลเล็กที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคคือ phytoalexins ชนิดต่างๆ เช่น stilbene เป็นสาร Phytoalexins ที่พบในองุ่นถูกสร้างขึ้นเมื่อมีการรุกรานจากเชื้อรากลุ่มที่ 3 เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับ defense response ที่ยังไม่ทราบหน้าที่ชัดเจนโปรตีนที่สำคัญคือ Chitinase และ β-1,3-glucanase หรือเรียกว่า PR โปรตีนชนิดของ PR-proteins ที่พืชสร้างขึ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นกับพืชและเชื้อสาเหตุของโรคเช่น ในมันฝรั่งที่แสดงความต้านทานต่อเชื้อ *Phythopthora infestans* สร้าง β-1,3-glucanase ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ PR2-proteins (Stroemberg และ Brishammer, 1993) โดยเอนไซม์ 2 ตัวนี้จะทำหน้าที่ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อรา ซึ่งผนังของเชื้อราโดยปกติประกอบไปด้วย β-glucan และ chitin เป็นส่วนประกอบหลัก (วงเดือน สุวรรณชาติ, 2545) กลไกการทำงานของไคโตแซนจะไปกระตุ้นการทำงานของยีนภายในต้นพืชโดยไคโตแซนจะไปกระตุ้นยีนที่ตอบสนองต่อความต้านทานของถั่ว (Fristensky และคณะ, 1985) และยังมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา เช่น ไคโตแซนสามารถยับยั้งการงอกของ macroconidia และการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Fusarium solani* (Allan และ Hadwiger, 1979) นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตแซนจะกระตุ้นให้พืชสร้างเอนไซม์ Phenylalanine ammonia lyase (PAL) และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการ phenyl propanoid pathway (Loschke และคณะ, 1981) และมีการสังเคราะห์โปรตีนจากถั่วอย่างน้อย 20 ชนิด (Wagoner และคณะ, 1982) เช่น เอนไซม์ Chitinase และ β-1,3-glucanase (Nichols และคณะ, 1980; Mauch และคณะ, 1984) Jacob และคณะ (1999) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ Chitinase และเอนไซม์ β-1,3-glucanase ในใบและผลองุ่น (*Vitis vinifera*) พันธุ์ที่ไวต่อโรคจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเข้าทำลายของเชื้อรา *Uncinulanecator* สาเหตุโรคราแป้ง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความรุนแรงของโรคราแป้งในองุ่น ทั้งในใบและผล แต่ไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ Chitinase และเอนไซม์ β-1,3-glucanase ในเนื้อเยื่อที่ไม่มีการเข้าทำลายของเชื้อโรค ส่วนใบและผลองุ่นที่ได้รับสาร

ethephon พบว่า ethephon สามารถกระตุ้นให้พืชสร้างเอนไซม์ Chitinase และ β-1,3-glucanase ได้เช่นกัน มีรายงานว่าสารเคมีหลายชนิด เช่น salicylic acid, amino-n-butyric acids, 2,6-dichloroisonicotinicacid สามารถกระตุ้นให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อ และนอกจากนี้ยังพบว่าสารเคมีดังกล่าวเป็นตัวกระตุ้นการสะสม PR โปรตีนในพืช Hwang และคณะ (1997) ได้ทำการทดลองในพริก (*Capsicum annuum* L.) ที่ฉีดสาร DL-β-amino-n-butyric acid (BABA) เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora capsici* พบว่าสาร BABA ช่วยลดความรุนแรงของโรคได้ และมีผลกระตุ้นการสังเคราะห์และสะสมเอนไซม์ Chitinase, β-1,3-glucanase และ salicylic acid (SA) ภายในเนื้อเยื่อลำต้นของพริก การสะสมเอนไซม์นี้ได้รับการกระตุ้นจากเชื้อรา *P. capsici* หลังจากได้รับ BABA และพืชเมื่อได้รับ BABA จะกระตุ้นให้พืชมีการสร้างความต้านทานต่อเชื้อรา *P. capsici* และพบว่า SAอาจจะมีบทบาทในการส่งสัญญาณการตอบสนองในต้นพืชเพื่อสร้างสารประกอบที่ต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อ *P. capsici* และกระตุ้นให้พืชสร้าง Pathogenesis-related protein เช่น เอนไซม์ β-1,3-glucanase และ Chitinase Liu และคณะ (1995) ศึกษาในเมล็ดฝ้าย (*Gossypium hirsutum* และ *G. barbadense*) โดยหว่านเมล็ดลงในแปลงปลูกที่มีเชื้อและไม่มีเชื้อ Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi (VAMP) ได้แก่ *Glomus mosseae, G. vesiforme* และ *Sclerocystis sinuosa* และทำการปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ *Verticillium dahliae* บนเมล็ดฝ้าย พบว่า VAMP ทำให้ต้นอ่อนของเมล็ดเจริญเติบโตได้ดี ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตในการผลิตฝ้าย และลดการเกิดโรค Verticillium wilt ในราก และใบของฝ้ายที่ปลูกในแปลงที่มี VAMP หรือเมล็ดที่ทำการปลูกเชื้อ *V. dahliae* พบว่าพืชมีการสร้างโปรตีนชนิดใหม่และมากกว่า 10 ชนิดที่ถูกจัดจำแนกว่าเป็น PR โปรตีน และ 1 ในนั้นเป็น PR โปรตีนที่แสดงกิจกรรมเอนไซม์ Chitinase ปริมาณ PR โปรตีนจะเพิ่มขึ้นภายในพืชภายหลังจากได้รับเชื้อ VAMP และ*V. dahliae* การทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าความเข้มข้นของ PR โปรตีนสามารถลดการเจริญเติบโตของเส้นใยของเชื้อรา และยับยั้งการงอก conidia ของเชื้อ *V. dahliae* ได้ โดยที่ผลของ PR โปรตีน สามารถลดการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรามากกว่าการงอกของสปอร์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบพวก chitin ในเส้นใยของเชื้อรามีมากกว่าสปอร์ โดยกิจกรรมของเอนไซม์ Chitinase จะไป catalyst ปฏิกิริยา hydrolysis ของ chitin ซึ่งมีสาร polysaccharide เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของเชื้อรา