บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

กระเจี๊ยบเขียว

1. ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของกระเจี๊ยบเขียว

กระเจี๊ยบเขียว

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Abelmoschus esculentus* (L.) Moench**

ชื่อพ้อง ***Hibiscus esculentus* L.**

ชื่อสามัญ **Okra Lady's finger**

ชื่อท้องถิ่น กระเจี๊ยบ กระเจี๊ยบมอญ มะเขือมอญ มะเขือทะวาย (ภาคกลาง) มะเขือมื่น มะเขือพม่า มะเขือละโว้ (ภาคเหนือ)

ชื่ออื่น Gumbo (ฝรั่งเศส) Kopi arab (อินโดนีเซีย) Kacang bendi, Sayur bendi, Kacang lender (มาเลเซีย) Saluyot a bunga (Ilocano), Haluyot (Ifugao) (ฟิลิปปินส์) You-padi (พม่า) Pôôt barang (กัมพูชา) Khüa ngwàng (ลาว) D[aaj]u B[aws]p, B[uj] b[aws]p, M[uw][ows]p t[aa]y (เวียดนาม) Bhindee (อินเดีย) Quimbamto (แอฟริกา)

วงศ์ **Malvaceae**

ถิ่นกำเนิด เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียใต้ และแอฟริกา

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ไม้ล้มลุกปีเดียว (annual herb) **ลำต้น** ตั้งตรง ลักษณะอ้วนสั้น สูงได้ถึง 4 เมตร **ใบ** เรียงเวียน (spiral) รอบลำต้น รูปใบคล้ายฝ่ามือ (palmate) มีลักษณะเป็นแฉกตั้งแต่ 3-9 แฉก ปลายใบเรียวแหลม (acuminate) โคนใบรูปหัวใจ (cordate) ขอบใบหยักซี่ฟัน (dentate) แผ่นใบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวได้ถึง 50 เซนติเมตร เส้นใบเรียงตัวเป็นร่างแหแบบฝ่ามือ (reticulate palmate type) ก้านใบยาวได้ถึง 50 เซนติเมตร หูใบมีลักษณะเป็นรูปเส้นด้าย (filiform) ยาวได้ถึง 20 มิลลิเมตร และมักจะแยกออกจากกันที่ฐาน **ดอก** สมบูรณ์เพศ ลักษณะเป็นดอกเดี่ยวรูประฆัง (bell-shaped) ออกตรงซอกใบหรือมีลักษณะเป็นช่อกระจะเทียม (pseudoracemes) บริเวณปลายยอดที่

กำลังแตกใบอ่อน กลีบดอกมี 5 กลีบ สีเหลืองเรียงบิดเวียน (convolute) โดยใจกลางดอกจะมีแต้มสีแดงเห็นชัดเจนเมื่อดอกบาน กลีบเลี้ยงเป็นแผ่นหุ้มเมื่อดอกตูม และจะแยกออกข้างใดข้างหนึ่งเมื่อดอกบานและจะหลุดร่วงพร้อมกลีบดอกเมื่อดอกได้รับการผสมเกสรเสร็จ **เกสรเพศผู้** อยู่ร่วมกันเป็นหลอดรอบก้านชูเกสรเพศเมีย **เกสรเพศเมีย** แยกออกเป็น 5 แฉกเหนือเกสรเพศผู้ **รังไข่** อยู่เหนือวงกลีบ (superior ovary) พลาเซนตาเป็นแบบรอบแกนร่วม (axile placental) มี 5 ลอคคูล **ผล** เรียวยาวสีเขียว มีขนที่ผิว ผลแห้งแตก (capsule) **เมล็ด** ขณะอยู่ในฝักอ่อน เรียบ กลม สีขาว เมื่อฝักแก่เมล็ดจะมีสีเขียวเข้มขึ้นจนอาจเป็นสีดำ (Baley, 1969; Mabberley, 1987; Siemonsma and Kasem, 1993; เต็ม สมิตินันทน์, 2544)

1.1 ประวัติความเป็นมา

กระเจี๊ยบเขียว เป็นพืชพวก amphidiploid (allotetraploid) (2n = 130) ที่มีต้นกำเนิดมาจาก *A. tuberculatus* Pal & Singh (2n = 58) ซึ่งเป็นกระเจี๊ยบเขียวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศอินเดียร่วมกับกระเจี๊ยบเขียวอีกพันธุ์หนึ่ง ซึ่งยังไม่สามารถระบุชนิดได้ (2n = 72) สำหรับกระเจี๊ยบเขียวพันธุ์อื่น ๆ ที่ใช้เป็นอาหารได้จะพบในเขตที่มีความชื้นของทวีปแอฟริกากลาง และแอฟริกาตะวันตก ทวีปอเมริกากลางและอเมริกาใต้ ในทวีปเอเชียพบว่ากระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักที่มีการเพาะปลูกกระจายอยู่เกือบทุกประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศอินเดีย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย เวียดนาม และไทย (Siemonsma and Kasem, 1993) ซึ่งในปัจจุบันนี้การเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวได้ขยายตัวไปถึงประเทศจีน และญี่ปุ่น และรวมถึงประเทศในแถบทะเลแคริบเบียน ซูดาน อียิปต์ และไนจีเรีย กระเจี๊ยบเขียวนั้นจัดเป็นผักพื้นบ้านภาคกลางของประเทศไทย (สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2542) เนื่องจากมีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากในจังหวัดต่าง ๆ แถบภาคกลางของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า คณะกรรมาธิการนานาชาติว่าด้วยเชื้อพันธุ์พืช (International Board for Plant Genetic Resource-IBPGR) ได้ประกาศให้กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักหนึ่งในแปดชนิดที่ต้องมีการเก็บรวบรวมเชื้อพันธุ์ไว้ เนื่องจากเมล็ดแห้งของกระเจี๊ยบเขียวมีน้ำมันสะสมอยู่ถึง 14% ซึ่งในอนาคตอาจมีการนำมาสกัดเป็นน้ำมันพืชเพื่อทดแทนน้ำมันพืชชนิดอื่นได้อีกด้วย (โลกของพืชผัก: กระเจี๊ยบเขียวผักเพื่อการส่งออก, 2544)

1.2 ความสำคัญของกระเจี๊ยบเขียว

กระเจี๊ยบเขียวได้เข้ามามีบทบาทในด้านการค้าระหว่างประเทศมากขึ้น นับตั้งแต่มีการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวไปจำหน่ายยังต่างประเทศจนถึงปัจจุบัน พบว่าในแต่ละปีนั้นมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นจากหลัก 10 ล้านบาทไปเป็นหลัก 100 ล้านบาทอย่างรวดเร็ว ซึ่งประเทศที่รับซื้อกระเจี๊ยบเขียวจากประเทศไทยได้แก่ ญี่ปุ่น ฮ่องกง ออสเตรเลีย อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน แคนาดา และสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งถือได้ว่าเป็นผู้รับซื้อรายสำคัญและรายใหญ่

ที่สุด เนื่องจากในฤดูหนาวประเทศญี่ปุ่นไม่สามารถทำการเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวได้ (ไพฑูรย์ พลสนะ, 2543) จากผลตอบแทนในการส่งออกที่ค่อนข้างสูง ทำให้เกษตกรและนักธุรกิจหันมาสนใจผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการขยายพื้นที่ในการเพาะปลูกและเกิดการแข่งขันทางกลไกตลาดและการส่งออกมากขึ้นเป็นลำดับ แรงกระตุ้นจากการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวยังส่งผลให้เกิดการแข่งขันในการนำเข้าของเมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวจากต่างประเทศ เกิดการค้นหาพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวพันธุ์ใหม่ ๆ มาปลูกในประเทศไทย รวมถึงเกิดการปรับปรุงพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวที่มีอยู่ในประเทศไทยให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ทั้งนี้เพื่อที่จะใช้เป็นพันธุ์ส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกเพื่อลดต้นทุนการนำเข้าเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศ ที่สำคัญการปรับปรุงพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวที่ดำเนินอยู่ในอดีตจนถึงปัจจุบันมุ่งเน้นให้กระเจี๊ยบเขียวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมโดยทั่ว ๆ ไป สามารถให้ผลผลิตในปริมาณมากและมีคุณภาพสูงและต้องต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืชและโรคของกระเจี๊ยบเขียว โดยเฉพาะโรคเส้นใบเหลืองได้ (เครือพันธุ์ กิตติปกรณ์, อำนวย อรรถลังรอง และ พิสสวรรณ เจียมสมบัติ, 2542-2543) และเป็นที่น่าสนใจคือ ในปัจจุบันนี้เกษตรกรและนักธุรกิจผู้ลงทุนเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวได้พยายามที่จะใช้ระบบการทำการเกษตรแบบชีวภาพมาผสมผสานกับการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ และทำการเกษตรกรรมโดยอ้างอิงหลักทางวิชาการมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาการตกค้างหรือการปนเปื้อนของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่าง ๆ ในแปลงเพาะปลูก และในผลผลิตที่จะส่งออก ซึ่งการทำการเกษตรแบบผสมผสานยังก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้เพาะปลูก ผู้บริโภคและสภาพสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปอีกด้วย อันนำไปสู่การทำการเกษตรที่ยั่งยืนในประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามปัญหาด้านการผลิตกระเจี๊ยบเขียว เช่น ราคาของเมล็ดพันธุ์ที่แพง ศัตรูพืช และการขาดข้อมูลด้านเขตกรรม รวมถึงปัญหาด้านการตลาดในการส่งออก (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และภัสรา ชวประดิษฐ์, 2540) ยังคงพบเห็นอยู่และรอวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ต่อไป

1.3 ประโยชน์ทางโภชนาการและทางการรักษาโรค

จากการวิเคราะห์กระเจี๊ยบเขียวฝักสดในส่วนที่บริโภคได้ (น้ำหนักสด) 100 กรัม มีคุณค่าทางอาหารดังนี้ (สำนักงานคณะกรรมการสาธารณสุขมูลฐาน, 2540)

พลังงาน	023.00 Kcal
เส้นใย	000.80 g
แคลเซียม	011.00 mg
ฟอสฟอรัส	002.00 mg
เหล็ก	000.80 mg
ไนอาซีน	001.60 mg
วิตามินซี	014.00 mg

วิตามินบี 1	000.05 mg
วิตามินบี 2	000.08 mg
เบต้าแคโรทีน	346.00 mg
วิตามินเอ	058.00 IU (International Unit)

นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังมีสารพวกกัม (gum) และเพคติน (pectin) ในปริมาณสูงทำให้มีลักษณะเป็นเมือก ซึ่งมีผลดีต่อการนำมารักษาอาการที่เกิดจากโรคกระเพาะและลำไส้อักเสบ อีกทั้งยังมีสรรพคุณช่วยป้องกันอาการหลอดเลือดตีบตัน ช่วยรักษาความดันโลหิตให้เป็นปกติ บำรุงสมอง เป็นยาระบายที่ดี และสามารถช่วยในการขับพยาธิตัวจี๊ดออกมาได้ (สำนักงานคณะกรรมการสาธารณสุขมูลฐาน, 2540)

1.4. พันธุ์ของกระเจี๊ยบเขียว

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักที่ให้ผลผลิตค่อนข้างเร็ว โดยจะสามารถออกดอกและติดฝักหลังปลูกไปแล้วประมาณ 30-35 วัน พันธุ์ของกระเจี๊ยบเขียวที่เหมาะแก่การปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยควรเป็นพันธุ์ที่ต้านทานโรคเส้นใบเหลือง ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพตรงตามที่ตลาดต้องการและต้องสามารถเจริญเติบโตได้ดีเหมาะกับสภาพดินฟ้าอากาศในแหล่งปลูก พันธุ์กระเจี๊ยบเขียวที่นำเข้ามาปลูกสำหรับการผลิตฝักเพื่อการส่งออกนั้นเป็นพันธุ์ลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 เช่น พันธุ์ Yamato Green พันธุ์ OK 9701 พันธุ์ Starlight พันธุ์ Early Five พันธุ์ Cariba และพันธุ์ Evergreen เป็นต้น ส่วนพันธุ์ที่ผลิตโดยหน่วยงานวิจัยของประเทศนั้นส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์ผสมเปิด (open pollination) เช่น พันธุ์ OK เบอร์ 1-5 พันธุ์พิจิตร01 03 และ05 (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และภัสราชวประดิษฐ์, 2540) ในปัจจุบันมีพันธุ์ต่าง ๆ มากมายที่เกษตรกรนิยมปลูก เช่น พันธุ์ India 9701 พันธุ์ Yamato Green พันธุ์ OK 9701 พันธุ์ Starlight Early Five พันธุ์ Cariba Evergreen และยูนิซีดส์ โดยพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกเพื่อการส่งออกอยู่ในหลาย ๆ จังหวัดเช่น กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรสาคร ราชบุรี นครปฐม กาญจนบุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง สระบุรี พิจิตร และเชียงใหม่ (เครือพันธุ์ กิตติปกรณ์, อำนวย อรรถลังรอง และ พิสสวรรณ เจียมสมบัติ, 2542-2543)

2. โรค แมลงศัตรู และวัชพืชสำคัญ

โรค และแมลงศัตรูของกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญซึ่งมีดังต่อไปนี้ (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

2.1 โรคที่สำคัญ

2.1.1 โรคเส้นใบเหลืองของกระเจี๊ยบเขียว (Okra vein yellowing disease)

ความเป็นมา

โรคนี้แพร่ระบาดโดยมีแมลงหวี่ขาวยาสูบ (tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius, 1889) เป็นพาหะนำโรค โรคนี้ไม่ถ่ายทอดทางเมล็ด สำหรับประเทศไทยพบว่ามีพืชอาศัยที่สำคัญของโรคนี้ได้แก่ มะเขือเทศ (*Lycopericon esculentum* Mill) แตงกวา (*Cucumis sativus* L.) ยาสูบใบใหญ่ (*Nicotiana tabacum* L.) พันธุ์ Xanthi และ *Malachra capitata* (L.) L. ซึ่งเป็นวัชพืชในวงศ์เดียวกันกับกระเจี๊ยบเขียว ประเทศไทยพบการระบาดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2538/39 บริเวณที่มีการปลูกกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นในเขตจังหวัดราชบุรี นครปฐม และอ่างทอง จากนั้นในปี พ.ศ. 2539/40 พบการระบาดในจังหวัดกาญจนบุรี ปทุมธานี นนทบุรี พิจิตร และสระบุรี และในปี พ.ศ. 2541 มีรายงานว่าโรคนี้แพร่ระบาดในแหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียวของจังหวัดเชียงใหม่ (เครือพันธุ์ กิตติปกรณ์, อำนวย อรรถลังรอง และ พิสสวรรณ เจียมสมบัติ, 2542-2543)

สาเหตุ

โรคเส้นใบเหลืองของกระเจี๊ยบเขียวเกิดจากไวรัสเส้นใบเหลือง (*Okra yellow vein mosaic virus*) ซึ่งเป็นไวรัสในวงศ์ Geminiviridae โดยเชื้อไวรัสจะถูกถ่ายทอดสู่แมลงหวี่ขาวที่ไปเจาะดูดน้ำเลี้ยงของต้นพืชที่เป็นโรคเส้นใบเหลือง และไปสะสมในต่อมน้ำลาย เมื่อแมลงหวี่ขาวที่มีเชื้อไวรัสนี้อยู่ไปเจาะดูดน้ำเลี้ยงของต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ไม่เป็นโรคก็จะทำให้เกิดการถ่ายทอดเชื้อไวรัสชนิดนี้เข้าสู่ต้นที่ไม่เป็นโรคผ่านทางน้ำลายของแมลงหวี่ขาวซึ่งจะทำให้ต้นดังกล่าวเป็นโรคเส้นใบเหลืองในที่สุด จากการศึกษาพบว่าแมลงหวี่ขาวหนึ่งตัวมีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดโรคได้โดยประมาณ 26% ของจำนวนต้นพืชทดลอง หลังจากรับและถ่ายเชื้อเป็นเวลาอย่างละไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง (เครือพันธุ์ กิตติปกรณ์, อำนวย อรรถลังรอง และ พิสสวรรณ เจียมสมบัติ, 2542-2543)

ลักษณะอาการ

ต้นกระเจี๊ยบเขียวที่เป็นโรคจะแสดงอาการเส้นใบด่างเหลือง ยอดเหลือง ใบและยอดม้วนงอ ฝักมีสีเหลือง ติดฝักน้อย ฝักไม่สมบูรณ์ และในระยะต้นกล้าลำต้น

จะเตี้ยแคระแกร็น (เครือพันธุ์ กิตติปกรณ์, อำนวย อรรถลังรอง และ พิสสวรรณ เจียมสมบัติ, 2542-2543)

ช่วงเวลาการระบาด

ระบาดได้ตลอดฤดูปลูก ในแหล่งที่เคยมีการระบาดของโรคเส้นใบเหลืองมาก่อนและในพื้นที่ที่มีแมลงหวี่ขาวแพร่ระบาด หรืออยู่อาศัย (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

2.1.2 โรคใบจุด (Leaf spot)

สาเหตุ

เชื้อรา *Pseudocercospora abelmoschi* (Ell' & Ev.) Deighton

ลักษณะอาการ

โดยมากจะเกิดอาการที่ใบล่างก่อนแล้วจึงลุกลามขึ้นส่วนยอด หลังใบจะพบเชื้อราซึ่งมีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้งสีขาวอมเทา และถ้าอาการของโรครุนแรงจะพบว่ามีสีเทาปนดำ เชื้อราชนิดนี้จะทำให้ใบแห้งและร่วง ลำต้นทรุดโทรมและตายในที่สุด (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

ช่วงเวลาการระบาด

โรคนี้มักระบาดอย่างรวดเร็วในฤดูหนาว ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง หมอกและน้ำค้างลงจัด เชื้อราดังกล่าวแพร่กระจายโดยลมและน้ำขณะที่รดต้นพืช (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

2.1.3 โรคฝักจุดหรือฝักลาย (Pod spot)

สาเหตุ

เชื้อรา *Alternaria* sp.

ลักษณะอาการ

เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดที่ใช้ปลูกจะแสดงอาการเมื่อกระเจี๊ยบเขียวเริ่มติดฝัก ทำให้ฝักเป็นจุดสีดำ หรือสีน้ำตาลเล็ก ๆ เท่ากับปลายเข็มหมุดที่ผิวของฝักกระเจี๊ยบเขียว แผลจะกระจายไปทั่วบริเวณ และจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น หากมีการระบาดอย่างรุนแรงบนฝักจะพบเป็นจุดใหญ่ หรือแผลติดต่อเป็นทางยาวสีน้ำตาลเข้ม (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

ช่วงเวลาการระบาด

โรคนี้มักระบาดช่วงฤดูฝนถึงฤดูหนาว โดยเฉพาะในช่วงที่กระเจี๊ยบเขียวติดฝัก จะพบมากในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง และเชื้อดังกล่าวสามารถแพร่กระจายไปตามน้ำและลมได้ (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

2.1.4 โรคแอนแทรคโนส (Antracnose disease)

สาเหตุ

เชื้อรา *Collettotrichum* sp.

ลักษณะอาการ

ในกระเจี๊ยบเขียวที่เป็นโรคฝักจะถูกทำลายโดยเชื้อราสาเหตุร่วมกับเชื้อ *Alternaria* sp. แต่อาการที่เกิดจากเชื้อรา *Collettotrichum* sp. จะรุนแรงมากกว่า รอยแผลจะมีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะเป็นรอยขีด ๆ สั้น ๆ ไม่กลมเหมือนแผลของโรคที่เกิดจากเชื้อ *Alternaria* sp. และบาดแผลจะแพร่กระจายทั่วฝัก ขอบแผลมีลักษณะช้ำคล้ายน้ำร้อนลวก และแผลจะบุ๋มหรือยุบตัวลงไปจากเนื้อเยื่อของฝัก (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

ช่วงเวลาการระบาด

โรคนี้มักพบว่ามีอาการระบาดอย่างรวดเร็วในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีหมอกลงหรือแหล่งเพาะปลูกที่มีความชื้นสูง เชื้อราจะสามารถแพร่ไปกับน้ำหรือลมได้ (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก)

2.2 แมลงศัตรูที่สำคัญ

2.2.1. แมลงปากดูด

2.2.1.1 แมลงหวี่ขาวยาสูบ

ชื่อวิทยาศาสตร์	***Bemisia tabaci* Gennadius**
ชื่อสามัญ	**แมลงหวี่ขาวยาสูบ, Tobacco whitefly**
อันดับ	**Homoptera**
วงศ์	**Aleyrodidae**
พืชอาศัย	มะเขือเทศ แตงกวา ยาสูบใบใหญ่ พันธุ์ Xanthi และ *Malachra capitata* (L.)L. เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

แมลงหวี่ขาวเป็นแมลงปากดูด ไข่มีขนาดเล็กและเริ่มฟักเป็นตัวอ่อนหลังจากตัวเต็มวัยวางไข่ได้ 5 วัน ตัวอ่อนที่ฟักออกมาจะเคลื่อนที่ได้และมักอยู่แถว ๆ เส้นใบ จากนั้นจะเริ่มหยุดนิ่งและดูดกินอยู่กับที่ ตัวอ่อนมีการลอกคราบ 4 ครั้ง รวมเป็นเวลาประมาณ 9 วัน จึงเข้าสู่การเป็นตัวเต็มวัย เป็นแมลงขนาดเล็กมีปากดูดแทงเช่นเดียวกันกับพวกเพลี้ย แมลงหวี่ขาวจะมีขนาดตัวยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร มีปีก 1 คู่ ลำตัวและปีกมีสีขาว ตัวเมียจะมีอายุอยู่ได้เฉลี่ย 6-7 วัน และสามารถวางไข่ได้ตั้งแต่เป็นตัวเต็มวัยได้ 1 วัน ซึ่งสามารถวางไข่ได้ครั้งละมากกว่า 100 ฟอง สำหรับตัวผู้นั้นอายุจะสั้นกว่า โดยมีอายุอยู่ได้เพียง 3-4 วันเท่านั้น (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

พบแมลงหวี่ขาวยาสูบระบาดได้ทั่วไปในแหล่งที่มีพืชอาศัย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.1.2 เพลี้ยจั๊กจั่นฝ้าย

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Empoasca devastans*** **Distant**

ชื่อสามัญ **เพลี้ยจักจั่นฝ้าย Cotton leafhopper**

อันดับ **Homoptera**

วงศ์ **Cicadelidae**

พืชอาศัย ฝ้าย มะเขือ กระเจี๊ยบ และปอแก้ว เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ตัวเต็มวัยของเพลี้ยจั๊กจั่นฝ้ายมีรูปร่างยาวรี สีเขียวจาง ปีกโปร่งใส มีจุดสีดำอยู่ตรงกึ่งกลางปีกข้างละจุด วางไข่เป็นฟองเดี่ยว ๆ ตามเส้นใบ หรือก้านใบ ระยะไข่กินเวลาประมาณ 4-6 วัน ตัวอ่อนจะเคลื่อนไหวเร็ว เดินเอาด้านข้างไปเช่นเดียวกับตัวเต็มวัย มีการลอกคราบ 6 ครั้ง เมื่อเป็นตัวเต็มวัย 3-4 วัน จะเริ่มผสมพันธุ์ จากนั้นอีก 3-4 วันจะเริ่มวางไข่ ซึ่งตัวเมียจะวางไข่ได้ถึง 30 ฟอง เพลี้ยจั๊กจั่นฝ้ายจะสามารถมีอายุอยู่ต่อไปได้อีกประมาณ 14-33 วัน ซึ่งในเวลา 1 ปี อาจสามารถสืบพันธุ์ได้ถึง 11 ชั่วรุ่น ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบ ทำให้ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและม้วนงอลง (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ระบาดได้ตลอดปีที่ปลูกพืชอาศัย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.1.3 เพลี้ยอ่อน

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Aphis gossypii*** **Clover**

ชื่อสามัญ **เพลี้ยอ่อน Aphids**

อันดับ **Homoptera**

วงศ์ **Aphididae**

พืชอาศัย พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ และไม้ผลหลายชนิด

ลักษณะและการเข้าทำลาย

เพลี้ยอ่อนมีลำตัวสีแดงเข้มปนดำ ผิวเป็นมัน ส่วนท้ายลำตัวที่ยื่นออกมามีสีดำ หนวดยาวกว่าส่วนลำตัว ระยะตัวอ่อนใช้เวลา 4-8 วัน เมื่อเจริญเป็นตัวเต็มวัยมีทั้งชนิดที่มีปีกและไม่มีปีก หัวและอกเล็ก ท้องโตคล้ายผลฝรั่ง ตัวเมียออกลูกได้โดยผสมหรือไม่ผสม

กับตัวผู้ก็ได้ สามารถแพร่พันธุ์ได้หลายชั่วรุ่น ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงตามใบ ดอก และยอดอ่อน ทำให้เกิดการหงิกงอเป็นคลื่น ใบที่มีเพลี้ยอ่อนระบาดจะมีมดอาศัยอยู่ด้วย เนื่องจากมดจะอาศัยกินน้ำหวานที่เพลี้ยอ่อนปล่อยออกมาและมักจะพบราดำขึ้นในบริเวณนั้นด้วย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ตลอดปีที่มีการเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.1.4 เพลี้ยแป้ง

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Pseudococcus* spp.**

ชื่อสามัญ **เพลี้ยแป้ง Mealybug**

อันดับ **Homoptera**

วงศ์ **Coccoidae**

พืชอาศัย พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับและไม้ผลหลายชนิด

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ตัวเต็มวัยตัวเมียมีขนาดลำตัวยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร สีเหลืองอ่อน อ้วนสั้น มีผงสีขาวปกคลุมลำตัว วางไข่เป็นกลุ่ม กลุ่มละ 100-200 ฟอง ตัวเมียสามารถวางไข่ได้ 600-800 ฟอง ในเวลาประมาณ 14 วัน ไข่จะฟักอยู่ในถุงใต้ท้องตัวเมีย เมื่อฟักออกจากไข่ ตัวอ่อนจะยังไม่มีผงสีขาว เมื่อเป็นตัวเต็มวัยจะมีรูปร่างรูปไข่และมีผงคล้ายแป้งสีขาวปกคลุมทั่วไป ตัวเมียไม่มีปีก ลอกคราบ 3 ครั้ง ส่วนตัวผู้มีปีก ลอกคราบ 4 ครั้ง เพลี้ยแป้งจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบและลำต้น มักพบอาศัยอยู่ตามยอด ใต้แผ่นใบ ลำต้น และผิวนอกของฝัก ไม่เคลื่อนที่เวลากินอาหาร แต่จะมีมดเป็นตัวขนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ตัวอ่อนสามารถไต่จากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้หรือถูกลมพัดพาไปได้ มักพบระบาดเป็นหย่อม ๆ สามารถขยายพันธุ์ได้ 2-3 รุ่น ระยะที่ไม่มีอาหารหลัก เพลี้ยแป้งจะอาศัยอยู่ใต้ดินตามรากพืช (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ตลอดปีที่ทำการเพาะปลูกพืชอาศัย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.1.5 เพลี้ยไฟ

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Thrips palmi* Palmer**

ชื่อสามัญ **เพลี้ยไฟ Thrips**

อันดับ **Thysanoptera**

วงศ์ **Thripidae**

พืชอาศัย ฝ้าย พืชวงศ์ผักบุ้ง ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และหอมฝรั่ง เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ไข่ของเพลี้ยไฟมีสีครีม ฟักเป็นตัวภายใน 3-4 วัน มีชีวิตอยู่รวม 6-11 วัน ลอกคราบรวม 4 ครั้ง ตัวอ่อนที่ลอกคราบเสร็จจะมีสีเหลือง ส่วนคราบสุดท้ายจะเป็นเหมือนดักแด้ ตัวเต็มวัยจะออกจากดักแด้ 36-54 ชั่วโมง โดยจะเป็นแมลงขนาดเล็ก มีปีก 2 คู่ เป็นพู่เหมือนขนนก ตัวเต็มวัยวางไข่ในเยื่อของใบอ่อนทั้งตัวอ่อน และตัวเต็มวัยจะเจาะผิวใบและดูดน้ำเลี้ยงทำให้ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและจากนั้นจะเหี่ยวแล้วร่วงไป และหากเพลี้ยไฟเข้าทำลายในระยะที่เป็นต้นกล้าจะทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตหรือตายไปได้ (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

พบได้ตลอดปีที่ปลูกพืชอาศัยและหากมีการระบาดรุนแรงจะสร้างความเสียหายมากเป็นวงกว้าง (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.2 หนอนที่กัดกินใบ และ/หรือ ส่วนต่าง ๆ ของพืช

2.2.2.1 หนอนห่อใบ

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Archips micaceana* (Walker)**

ชื่อสามัญ **หนอนห่อใบ Leaf folder**

อันดับ **Lepidoptera**

วงศ์ **Tortricidae**

พืชอาศัย ส้ม ลำใย ถั่วเหลือง ถั่วลิสง มะม่วง พุทรา กระเจี๊ยบ และอื่น ๆ เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

หนอนห่อใบมีสีเขียวอ่อน หัวสีน้ำตาล เคลื่อนไหวเร็วมาก ระยะหนอนอายุ14-18 วัน จากนั้นจะเข้าสู่ดักแด้ภายในใบที่ห่อ 5-7 วัน จากนั้นจึงจะออกมาเป็นผีเสื้อ มีปีกคู่หน้าสีน้ำตาลมีลวดลายสีน้ำตาลเข้ม ปีคู่หลังมีสีน้ำตาล ตัวผู้ขนาดเล็กกว่าตัวเมีย และตัวเมียจะวางไข่เป็นกลุ่ม ๆ สีเหลืองครั้งละ 70-200 ฟอง เมื่อหนอนฟักออกจากไข่แล้วจะกัดกินใบที่อ่อน ๆ ใบที่ทำการม้วนรอบตัวจะเป็นทั้งอาหารและที่อยู่ บางครั้งพบว่าหนอนชนิดนี้จะกินใบที่ติดกับฝักหรือชักใบเอามารวมกันแล้วกินอยู่ภายในใบนั้น ถ้ามีการระบาดมาก ๆ ต้นพืชอาศัยจะไม่เจริญเติบโตและผลผลิตจะน้อยลง (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ตลอดทั้งปี (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.2.2 หนอนกระทู้หอม

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Laphygma exigua* (Hübner)**

ชื่อสามัญ **หนอนกระทู้หอม Beet armyworm**

อันดับ **Lepidoptera**

วงศ์ **Noctuidae**

พืชอาศัย หอม กะหล่ำ ผักกาด พริก ถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา ถั่วลิสง ถั่วเขียว แตงโม องุ่น และข้าวโพดหวาน เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

หนอนชนิดนี้มีชื่อเรียกอื่น ๆ เช่น หนอนหลอดหอม หนอนหอม หรือหนอนหนังเหนียว หนอนกระทู้หอมจะมีลำตัวอ้วน ผนังลำตัวเรียบ เมื่อโตเต็มที่จะสังเกตพบว่ามีสีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีเขียว สีเทาและสีน้ำตาลดำ โดยข้าง ๆ ลำตัวจะมีแถบสีขาวข้างละ 1 แถบพาดตามยาว แม่ผีเสื้อจะวางไข่จำนวน 20-80 ฟอง ขึ้นไป และสามารถฟักออกมาเป็นตัวได้ภายใน 72 ชั่วโมง โดยจะใช้เวลาสั้นลงเมื่ออยู่ในช่วงฤดูที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง หนอนมีการเจริญเติบโต 6 ระยะและมีการลอกคราบ 5 ครั้ง ในธรรมชาติหนอนจะมีอายุประมาณ 14-17 วัน มีระยะหดตัวประมาณ 2-3 วัน จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ระยะการเป็นดักแด้ในดินลึกประมาณ 1-2 เซนติเมตร เป็นเวลาประมาณ 5-7 วัน ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อขนาดกลางสีน้ำตาลแก่ปนเทา มีจุดสีน้ำตาลอ่อน 2 จุดตรงกลางปีกคู่หน้า มีอายุอยู่ได้ 5-10 วัน ตัวเต็มวัยที่เป็นผีเสื้อกลางคืนจะวางไข่เป็นกลุ่มสีขาวมีขนปกคลุมตามส่วนอ่อนของพืช เช่น ใบและก้านใบ หนอนที่ฟักออกจากไข่จะกัดกินส่วนต่าง ๆ ของต้นกระเจี๊ยบเขียว ทำให้ผลผลิตลดลง คุณภาพไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (เกษตรและสหกรณ์, 2545ก) การกัดกินของหนอนชนิดนี้จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นหนอนที่กินจุและกินรวดเร็วและกัดกินทั้งกลางวันและกลางคืน อีกทั้งมีพืชอาศัยหลายชนิดและตัวหนอนสามารถสร้างความต้านทานต่อสารเคมีฆ่าแมลงแทบทุกชนิดจึงทำให้มีโอกาสดำรงชีวิตและขยายพันธุ์ได้มาก (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ระบาดตลอดปีตามแหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียวและพืชอาศัยอื่น ๆ โดยเฉพาะในต้นหอม กะหล่ำ และผักกาด (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.2.3 หนอนกระทู้ผัก

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Spodoptera litura* (Fabricius)**

ชื่อสามัญ **หนอนกระทู้ผัก Vegetable leafworm**

อันดับ **Lepidoptera**

วงศ์ **Noctuidae**

พืชอาศัย พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ และไม้ผลแทบทุกชนิด

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ไข่ของหนอนกระทู้ผักจะถูกวางเป็นกลุ่ม ๆ มีขนสีน้ำตาลปกคลุม ไข่จะเปลี่ยนจากสีขาวนวลเป็นสีน้ำตาลและสีดำเมื่อใกล้จะฟักเป็นตัวภายใน 3-7 วัน ตัวหนอนจะมีสีเขียวอ่อน ลำตัวอ้วน ป้อม ผิวหนังเรียบอยู่รวมกันเป็นกลุ่มตรงที่ไข่ฟัก หากินเวลากลางคืน อายุหนอนประมาณ 7 วัน จากนั้นจะเป็นระยะเข้าดักแด้ โดยดักแด้จะเข้าในดินตรงรอยแตกระแหงหรือตามกองขยะ ดักแด้มีสีดำอายุประมาณ 7-12 วัน ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืน ลำตัวมีขนสีน้ำตาลอ่อนปกคลุมอยู่ ปีกคู่หน้ามีจุดสีน้ำตาลเข้มมีลวดลายเต็มปีก ส่วนปีกคู่หลังสีขาว ตัวเมียวางไข่ได้ 200-300 ฟอง ตัวเมียที่ได้รับการผสมจะวางไข่ ตามใบ กิ่ง และก้าน หนอนวัยแรกอยู่รวมเป็นกลุ่มแทะกินใบจนบางใสเป็นรูพรุน และกัดกินก้านและฝักของกระเจี๊ยบเขียวอีกด้วย เมื่อหนอนโตขึ้นจะเคลื่อนย้ายไปกัดกินแทบทุกส่วนของพืช ทำให้เกิดความเสียหายรุนแรง โดยการทำลายจะเกิดเป็นหย่อม ๆ ตามจุดที่แม่ผีเสื้อวางไข่ (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

พบตลอดปีและพบว่าสามารถเข้าทำลายต้นพืชได้รวดเร็วและตลอดทั้งปี (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.2.4 หนอนม้วนใบฝ้าย

ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Sylepta derogate* (Fabricius)**

ชื่อสามัญ **หนอนม้วนใบฝ้าย Cotton leaf roller**

อันดับ **Lepidoptera**

วงศ์ **Pyralidae**

พืชอาศัย ฝ้าย กระเจี๊ยบ ตลับนาค ชบา ต้นแป้ง และหญ้าละออง เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ไข่ของหนอนม้วนใบฝ้ายมีขนาดเล็กมาก สีเขียวอมเหลือง รูปแบน ระยะไข่ 3-5 วัน หนอนสีขาวอมเขียวค่อนข้างใส หัวมีสีน้ำตาลดำ มีแผ่นสีดำที่ตรงต้นคอ มีอายุประมาณ 15-18 วัน ดักแด้มีขนเป็นหนามแหลมอยู่ 8 อัน ตรงปลายดักแด้มีขนเป็นตะขอ อายุช่วงนี้ 5-13 วัน ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืนสีขาวนวล หัวและหน้าอกมีจุดสีดำ ท้องมีวงแหวนสี

น้ำตาล ปีกมีริ้วเป็นลูกคลื่นน้ำตาลหรือดำ มีชีวิตอยู่ไม่เกิน 10 วัน ไข่จะถูกวางกระจายอยู่ตามต้นและใต้ใบอ่อนของพืช หนอนจะกัดกินใบจนตลอดเวลาจนเข้าสู่ระยะดักแด้ โดยจะกินใบพืชขาดกว่าครึ่งซีก แล้วทำการม้วนส่วนที่เหลือรอบตัว ขึงด้วยเส้นใยที่รัดตึงและแน่น ทำให้เกิดเป็นรูปกรวย โดยแต่ละกรวยจะพบหนอนหลายตัว แต่เมื่อหนอนโตขึ้นแต่ละตัวจะแยกย้ายไปสร้างกรวยต่างหากและเข้าดักแด้ในกรวยที่สร้างนั้น (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ช่วงที่ปลูกพืชอาศัย ก่อนที่จะมีการสร้างดอก (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.3 หนอน หรือแมลงที่เจาะทำลายส่วนต่าง ๆ ของพืช

2.2.3.1 หนอนสไปนี

ชื่อวิทยาศาสตร์	***Earias fabia* Stoll**
ชื่อสามัญ	**Spiny bollworm**
อันดับ	**Lepidoptera**
วงศ์	**Noctuidae**
พืชอาศัย	ฝ้าย กระเจี๊ยบ ปอแก้ว และวัชพืชเช่น กระเบาหญ้าเขียว เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ไข่ของหนอนสไปนีเป็นรูปกลมนูนคล้ายฝาชี สีน้ำทะเลมักพบเป็นฟองเดี่ยว ๆ ระยะไข่ 3 วัน ตัวหนอนมี 5 วัย โดยวัยที่ 5 จะกินจุและรวดเร็วกว่าวัยอื่น ๆ เมื่อถูกรบกวนจะเข้าดักแด้ทันที รวมระยะหนอนมีอายุประมาณ 8-12 วัน ดักแด้สีน้ำตาลปนเขียว ห่อหุ้มด้วยรังไหมมีลักษณะเป็นรูปเรือคว่ำ สีขาวนวล ระยะนี้กินเวลาประมาณ 6-9 วัน ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืนขนาดเล็ก ปีกคู่หน้ามีแถบสีเขียวพาดตามยาวตลอดกลางปีก มีชีวิต 7-13 วัน ตัวเมียวางไข่นาน 7 วัน โดยจะวางไข่ประมาณ 42-385 ฟอง ไข่จะถูกวางตามยอดอ่อน ตาอ่อน หนอนจะเข้าทำลายยอด และดอก (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ต้นฤดูและปลายฤดูที่อากาศแห้งแล้ง ในการปลูกพืชอาศัย หรือในบริเวณที่พบวัชพืชอาศัย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.3.2 หนอนเจาะสมอฝ้าย

ชื่อวิทยาศาสตร์	***Helicoverpa armigera* (Hübner)**
ชื่อสามัญ	**หนอนเจาะสมอฝ้าย Cotton bollworm**
อันดับ	**Lepidoptera**
วงศ์	**Noctuidae**
พืชอาศัย	พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ และไม้ผลแทบทุกชนิด

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ไข่ของหนอนเจาะสมอฝ้ายมักพบเป็นใบเดี่ยว ๆ แต่ละฟองมีรูปร่างคล้ายฝาชี สีเหลืองและเปลี่ยนเป็นสีเข้มเมื่อจะฟักเป็นตัวหนอนภายใน 2-5 วัน ตัวหนอนมีสีลำตัวแตกต่างกัน ลำตัวยาวเต็มที่ 35 มิลลิเมตร หัวเล็กสีเขียวหรือสีน้ำตาลอ่อน มีเส้นเล็ก ๆสีเหลืองอยู่ทางข้าง ๆ ลำตัวสองเส้น และสีน้ำตาลแก่ด้านบน 1 เส้น มีขนน้อย ลำตัวอาจมีสีเขียว เขียวปนเหลือง หรือชมพูปนน้ำตาล ช่วงที่เป็นหนอนจะลอกคราบ 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 2-5 วัน รวมระยะที่เป็นหนอน 17-25 วัน และอีก 4-12 วัน จะเข้าดักแด้ในรังดิน ลักษณะหัวมนปลายแหลม รูปร่างยาว ท้องสีน้ำตาลปนเหลือง มีเส้นสันหลังสีน้ำตาลแก่ อกสีน้ำตาลเขียว ส่วนที่จะเป็นปีกตอนต้นมีสีเขียวอ่อนและเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลปนเหลืองเมื่อถึงปลาย ปลายสุดของดักแด้มีหนาม 1 อัน ลักษณะงอ ปลายแหลมเป็น 2 แฉก ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืน มีสีน้ำตาล ตัวเมียสามารถวางไข่ได้มากกว่า 1,000 ฟองขึ้นไป และมีอายุนาน 10-12 วัน หรือนานกว่านี้ ตัวเต็มวัยจะวางไข่เป็นฟองเดี่ยว ๆ ตามส่วนอ่อนของพืช เช่น ใบ ก้านใบ และยอดอ่อน หนอนวัยแรกกัดกินดอก และทำลายภายในฝัก ทำให้ผลผลิตลดลงและคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการของตลาด โดยพบว่าหนอนชนิดนี้ไม่อยู่รวมกันหลายตัวเพราะมีนิสัยชอบกัดกินกันเอง (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ระบาดในช่วงออกดอกและติดฝักของกระเจี๊ยบเขียว (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

2.2.3.3 ด้วงงวงเขียว

ชื่อวิทยาศาสตร์	***Hypomeces squamosus* (Fabricius)**
ชื่อสามัญ	**ด้วงงวงเขียว Green weevil**
อันดับ	**Coleoptera**
วงศ์	**Curculionidae**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พืชอาศัย กระเจี๊ยบ หม่อน ปอแก้ว ฝ้าย ส้ม เงาะ ลำใย ทุเรียน และมะม่วง เป็นต้น

ลักษณะและการเข้าทำลาย

ตัวเมียวางไข่ในดิน ไข่มีอายุ 10-11 วัน ระยะเป็นหนอนประมาณ 5-6 วัน และเข้าสู่ดักแด้นาน 14-15 วัน ตัวเต็มวัยมีสีเขียวออกเหลือง ตัวที่มีสีเทาและสีดำจะทำลายพืชมากที่สุด หนอนจะกินหรือเจาะยอดอ่อนเช่นรากและยอด ส่วนตัวเต็มวัยกัดกินใบอ่อนจากด้านนอกเข้ามาข้างในทำให้ใบหายเป็นส่วน ๆ (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ช่วงเวลาระบาด

ตลอดระยะเวลาปลูกพืชอาศัย (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, 2526)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

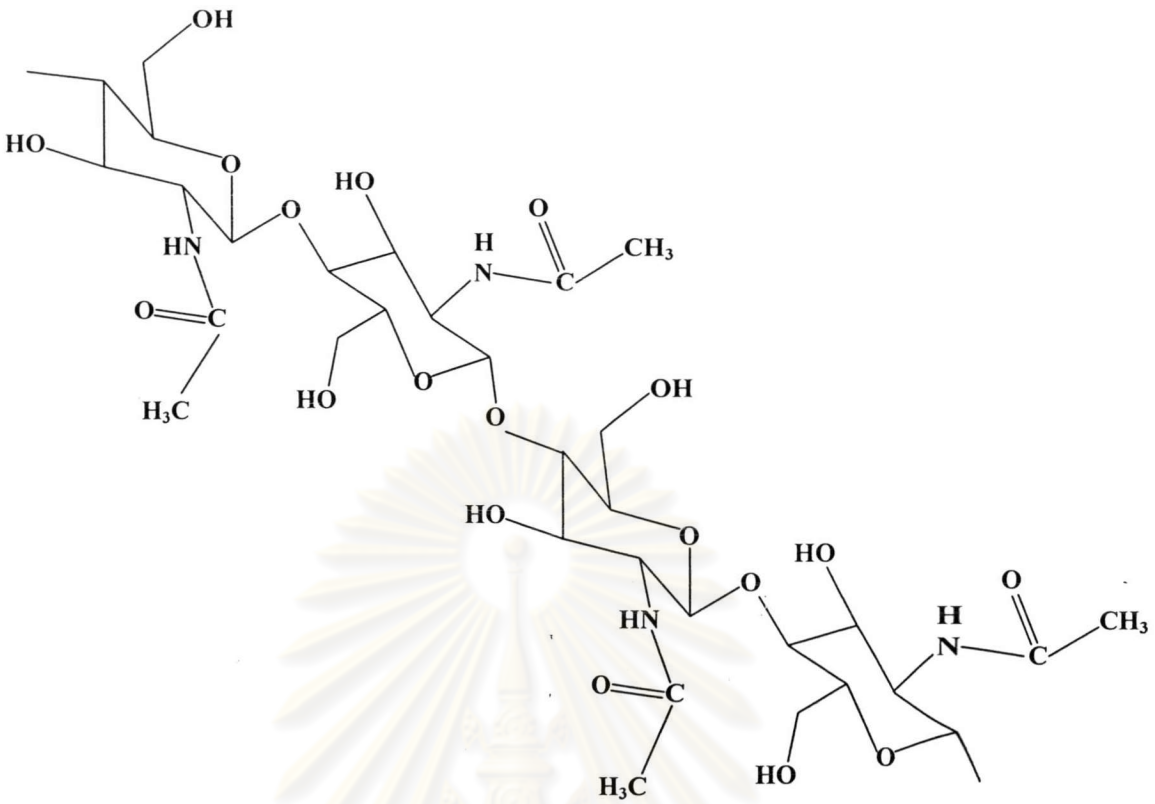
ไคติน-ไคโตซาน

1. ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของไคติน –ไคโตซาน

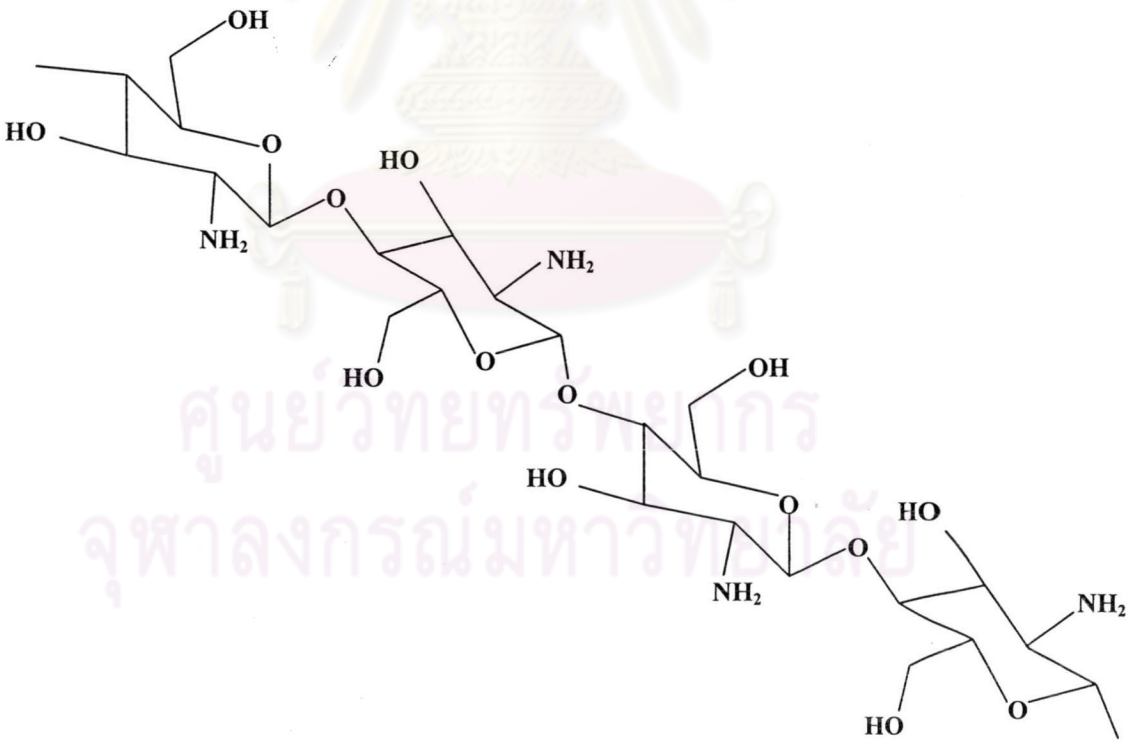
ไคติน (Chitin) มาจากภาษากรีกแปลว่า เยื่อแผ่นที่ห่อหุ้มอวัยวะ(tunic) หรือเครื่องห่อหุ้มและปกคลุม (envelope) (Muzzarelli, 1976) ไคตินได้รับการกล่าวถึงครั้งแรกในปี ค.ศ.1811 โดย Braconnot นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ที่ได้ทำการทดลองต้มเห็ด *Agaricus volvaceus* Bull และเห็ดชนิดอื่น ๆ ด้วยด่าง เพื่อสกัดไคติน ในอดีตการศึกษาเกี่ยวกับไคตินค่อนข้างมีน้อยเนื่องจากไคตินย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ต่อมาในปี ค.ศ. 1859 มีการรายงานถึงไคโตซานเป็นครั้งแรกโดย Rouget จากการนำไคตินไปต้มในสารละลาย Potassium hydroxide ที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งทำให้ไคตินดังกล่าว สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ ซึ่ง Rouget เรียกไคตินลักษณะนี้ว่า Modified chitin ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1894 Hoppe-Seyler ได้ทำการศึกษาซ้ำอีกครั้ง และกำหนดชื่อใหม่แก่ Modified chitin ว่า ไคโตซาน (Chitosan) (Muzzarelli, 1976)

ไคติน (Poly(2-acetamino-2-deoxy-D-glucose) หรือ Poly(N-acetylglucosemine)) (Horton et al., 1993) เป็นมวลชีวภาพที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงและป้องกันอันตรายให้แก่สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Crustacean เช่น เป็นแกนหมึก เปลือกตัวของกุ้ง และ ปู และยังพบได้ในหอยเปลือกแข็งพวก Mollusca รวมถึงพวกหอยมุก (Gastropoda) ส่วนในกลุ่ม Insecta พบในไหมและโครงสร้างที่เป็นเปลือกของตัวแมลงชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ไคตินยังเป็นองค์ประกอบของเห็ด ยีสต์ ผนังเซลล์ของเชื้อรา และพบในจุลินทรีย์อีกหลายชนิด (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2543) แม้กระทั่งร่างกายของมนุษย์เองก็มีไคตินเช่นกัน (Campbell, Reece, and Mitchell, 1999)

โครงสร้างของไคติน **(รูปที่ 1)** มีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ต่างกันที่หน่วยอนุพันธ์ย่อย โดยเซลลูโลสจะเป็น D-glucose แต่ของไคตินจะเป็น N-acetylglucosamine จากการศึกษาโดยการใช้รังสีเอกซ์เรย์ (X-ray) ทำให้สามารถแบ่งรูปผลึกของไคติน (Polymorphic crystalline chitin conformation) ได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ไคตินแบบแอลฟา (α-chitin) เบตา (β-chitin) และแกมมา (γ-chitin) ความแตกต่างของผลึกทั้งสามแบบเกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุลที่แตกต่างกัน (Muzzarelli, 1976) โดยการเรียงตัวกันแบบเป็นแผ่นที่ซ้อนทับกัน (pleated sheet) จะเรียงได้สองแบบคือ แบบขนานที่หันไปในทิศทางเดียวกัน (Parallel pattern) เกิดเป็น β-chitin เช่นที่พบในแกนหมึก และแบบขนานที่สวนทางกัน (Anti-parallel pattern) เกิดเป็น α-chitin เช่นที่พบได้ในไคตินที่อยู่บนเปลือกของกุ้งและปู สำหรับโครงสร้างที่เรียงสลับกันระหว่างทั้งสองรูปแบบจะเกิดเป็น γ-chitin (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542) ในธรรมชาติจะพบว่ามีไคตินแบบ α-chitin มากที่สุด ทั้งนี้เพราะโครงสร้างมีเสถียรภาพมากกว่าแบบอื่น ๆ (Muzzarelli, 1976)



Chitin



Chitosan

รูปที่ 1. โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน (ดัดแปลงจาก Muzzarelli, 1976)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation) ทำให้ไคตินซึ่งละลายน้ำและกรดอินทรีย์ได้ยากเปลี่ยนเป็นไคโตซาน (Poly (2-amino-2deoxy-D-glucose) หรือ Poly (N-glucosamine)) **(รูปที่ 1)** ที่สามารถละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายน้อยกว่า 6 (Li et al., 1997) การลดลงของหมู่อะซิติล (CH_3CO-)ในไคตินจะทำให้จำนวนของหมู่อะมิโน (-NH_2) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มสมบัติของการเป็นสารที่มีประจุบวก (Polycationic) ให้มีมากขึ้น และมีสมบัติของการเป็นไคโตซานที่เพิ่มขึ้น (Chitosan generation) ซึ่งจะวัดได้จากค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of Deacetylation, DD) โดยคิดเป็นหน่วยร้อยละ (% DD) ซึ่งโดยมากช่วงของ % DD มักอยู่ระหว่าง 70-95 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการแปรรูปไคตินให้เป็นไคโตซาน (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ และ สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542) แต่ในรายงานวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จะนิยามไคโตซานว่าจะต้องมี % DD มากกว่า 70 % ขึ้นไป (Li et al., 1997)

2. ไคติน-ไคโตซานในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยมีการผลิตไคติน-ไคโตซานมาเป็นเวลาหลายปีแล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย อย่างไรก็ดีในช่วง 3-5 ปีที่ผ่านมา ความสนใจของการใช้ไคติน-ไคโตซานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศที่มีส่วนประกอบของไคติน-ไคโตซาน จึงทำให้เกิดความตื่นตัวในการพัฒนาและศึกษาวิจัยไคติน-ไคโตซาน ภายในประเทศมากขึ้น เนื่องจากประเทศไทยค่อนข้างได้เปรียบในด้านวัตถุดิบที่จะนำมาผลิต ซึ่งได้แก่ เศษวัสดุจากอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ เช่น เปลือกกุ้ง และเปลือกปู การนำเศษวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในการผลิตไคติน-ไคโตซาน เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเหลือใช้ที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์ และคุ้มค่ามากที่สุด และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งจะนำไปสู่การลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์ที่มีไคติน-ไคโตซานเป็นองค์ประกอบจากต่างประเทศได้อีกด้วย ทำให้ช่วยลดการขาดดุลทางการค้าระหว่างประเทศได้ (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

3. ขั้นตอนสำคัญในการผลิต ไคติน-ไคโตซาน

3.1. กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination)

ในการผลิตไคติน-ไคโตซาน จากเศษวัสดุอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ เช่น เปลือกกุ้ง และเปลือกปู จำเป็นจะต้องมีการกำจัดโปรตีนออกเสียก่อน ส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) เ ป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งนอกจากโปรตีนแล้วไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกกำจัดออกไปได้ด้วย (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

3.2. กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (Demineralization)

นำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งจะเป็นการกำจัดสารพวกหินปูน ($CaCO_3$) ออกไป รงควัตถุและโปรตีนบางส่วนที่เหลืออยู่ก็จะถูกกำจัดออกไปด้วย ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ไคตินบริสุทธิ์ (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

3.3. กระบวนการกำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation)

ทำการต้มไคตินที่ได้หลังการกำจัดเกลือแร่ที่อุณหภูมิสูง โดยใช้ด่าง (เช่น NaOH) ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 40 % (w/v) ขึ้นไป จะทำให้ได้ไคโตซาน ที่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซีติก (CH_3COOH) กรดโพรพานิก (CH_3CH_2COOH) กรดแลคติก ($CH_3 CH_2CH_2COOH$) และกรดบิวทีริก ($CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$) เป็นต้น (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

4. สมบัติที่สำคัญของไคติน-ไคโตซาน

ไคติน-ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพ สามารถถูกย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงปลอดภัยต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ไคตินไม่สามารถละลายในน้ำและสารอินทรีย์ทั่ว ๆ ไปได้ ส่วนไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิดและเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิมได้ โดยไคโตซานจะมีประจุบวก มีความหนืด และใส เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย ไคติน-ไคโตซานสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เจล เม็ด เส้นใย สารเคลือบ และคอลลอยด์ (colloid) อีกทั้งยังทำปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์อื่น ๆ (derivatives) ได้มากมาย (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

5. การประยุกต์ใช้ ไคติน-ไคโตซาน ในด้านต่าง ๆ

5.1. การประยุกต์ใช้ ในด้านการแพทย์ (Biomedical applications)

ในทางการแพทย์ไคติน-ไคโตซาน ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการรักษาโรค ช่วยกระตุ้นร่างกายให้ต่อสู้กับโรค เช่น อนุพันธุ์ของ N- และ O-sulfated chitosan ถูกนำไปใช้ในการสร้าง Heparin-like blood anticoagulation ประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการรุกรานของเซลล์มะเร็ง รวมถึงการใช้เป็นตัวรวบรวมเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวไม่ให้แพร่กระจายในกระแสโลหิตได้อีกด้วย (Muzzarelli, 1976) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไคติน-ไคโตซาน ในการกระตุ้นการสร้างกระดูก และกระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อฟัน (periodental tissue) (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2542) และใช้ sulfated chitosan ในการยับยั้งการแข็งตัวของเลือดและยับยั้งการสร้าง Immunoglobulin ในมนุษย์ เป็นต้น (Vongchan, Kasinrerk and Kongtawelert, 2003) ในทางวัสดุทางการแพทย์พบว่าไคติน-ไคโตซานสามารถถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการทำวัสดุปิดบาดแผล (wound healing accelerators) การทำเยื่อไตเทียม (artificial kidney membranes) การผลิตไหม

ละลาย ผิวหนังเทียม (ทำจาก Chitosan-Collagen) และการผลิตเลนส์ตา ส่วนอนุพันธ์ของ Carboxymethyl chitosan ในรูปของ Hydrogel ถูกนำไปใช้ในการทำวัสดุรักษาและตกแต่งบาดแผล (Janvikul, Thavornyutikarn, and Uppanan, 2003) และสร้าง transdermal patch (Han et al, 2003) ได้อีกด้วย นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ทั้งแกรมบวกและแกรมลบได้ในวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไคโตซานที่มีโมเลกุลของธาตุ Zn (CS-Zn complex) จะทำให้ฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้ไคโตซานธรรมดาถึง 8 เท่า (Wang, Du, and Liu, 2004) มีรายงานการทดลองที่นำฟิล์มไคโตซานที่มี 95 % DD น้ำหนักโมเลกุล 900,000-1,000,000 Dalton มาผสมกับ garlic oil ที่ความเข้มข้นอย่างน้อย 100 µl/g หรือ potassium sorbate (PS) ที่ความเข้มข้น 100 mg/g หรือ bacteriocin nisin (N) ที่ความเข้มข้น 51,000 IU/g พบว่าไคโตซานดังกล่าวสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อ *Staphylococcus aureus* *Listeria monocytogenes* และ *Bacillus cereus* ได้ (Pranoto, Rakshit, and Salokhe, 2005)

5.2. การประยุกต์ใช้ในด้านอาหารและยา (Food and Pharmaceutical applications)

มีรายงานที่กล่าวถึงไคติน-ไคโตซานที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารสำหรับควบคุมน้ำหนัก ลดการสะสมของคอเลสเตอรอล กรดยูริก และยูรีนที่มีอยู่ในร่างกายของมนุษย์ อีกทั้งถูกนำมาใช้เพื่อลดปัญหาของผู้ป่วยที่เป็นโรค Celiac (Muzzarelli and de Vincenzi, 1997) นอกจากนี้ยังมีการนำไคติน-ไคโตซาน มาใช้ในลักษณะของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดรับประทานได้ (Chitosan and ester-modified starch) (Jangchud, Sumitra, and Jangchud, 2003) และใช้ในการตรึงยีสต์เพื่อศึกษาปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักเบียร์ (อัจฉลีย์ เอี่ยมผ่อง และคณะ, 2542) ในด้านการศึกษาเกี่ยวกับยาพบว่ามีการใช้ไคตินผสมในยาชนิดเม็ดละลายเร็ว (Orodispersible tablets) สำหรับใช้ในผู้ป่วยสูงอายุ (Phaechamud, 2003) และใช้เป็นสารเคลือบยาชนิดเม็ด (Phaechamud, Koizumi, and Ritthidej, 2003) นอกจากนี้มีการศึกษาผลของไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานต่อการปลดปล่อยยาชนิดต่าง ๆ (Puttipipatkhachorn, Tunsutthipanon, and Nunthanid, 2003; Sriamornsak, Nunthanid, and Puttipipatkhachorn, 2003; Pomsila et al., 2003) ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ไคติน-ไคโตซานยังถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมในครีมประอรผิว (พิมพร ลีลาพรพิสิฐ, จีรติการณ์ พิทาคำ, และชาดา ศรีชูชาติ, 2546) และโลชั่นบำรุงผิว (เรวดี มีสัตย์, หทัยรัตน์ ริมคีรี, และธงชัย สุวรรณสิชณ์, 2546) สำหรับในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่ามีการใช้ไคโตซานในการป้องกันการเจริญเติบโตของยีสต์และแบคทีเรียในกลุ่ม lactic acid bacteria ในน้ำแอปเปิล (Rhoades and Roller, 2000) อีกทั้งไคโตซาน 90 % DD ที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง สามารถใช้ยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* (ATCC 25922) และเชื้อ *S. aureus* (ATCC 27853) (Chung et al., 2003) ได้ สำหรับในทางอาหารสัตว์พบว่า ไคติน-ไคโตซานถูกนำไปใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของสุกร (ปิยะบุตร วา

นิชพงษ์พันธุ์, 2543) และใช้เป็นตัวเสริมอาหารแก่ไก่เนื้อ (สุคีพ ไชยมณี, สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์, และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2546)

5.3. การประยุกต์ใช้ในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental management applications)

ไคติน-ไคโตซานถูกนำมาใช้ในการจัดการโลหะหนักชนิดต่าง ๆ และผลผลิตพลอยได้ที่เป็นพิษอันเนื่องมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น รวมถึงตะกอนชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการทำอุตสาหกรรม (Muzzarelli, 1976) สำหรับความตื่นตัวในการพัฒนาไคติน-ไคโตซานเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียพบว่า ได้มีการทดลองนำไคตินไปใช้ในการเก็บโลหะเงินจากน้ำทิ้งในกระบวนการอัดภาพ (Songkroah, Thiravetya, and Nakbanpote, 2003) ใช้เกล็ดไคโตซานที่ได้จากเปลือกกุ้ง ในการกำจัดสารตะกั่วและสารปรอทในน้ำเสีย (จารุรัตน์ เชาว์เลิศ และ ขันทอง สุนทราภา, 2546) ใช้ไคโตซานพอรัสบีดในการกำจัดโลหะหนักมาตรฐาน สังกะสี และแคดเมียม (นิรันดร์ สัพพวิญญู และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2546) และใช้ไคโตซานในการบำบัดน้ำล้างฟิล์มเอกซเรย์ (บังอร ลือภักดีสกุล, ละเอียด เพ็งโสภา, และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2546) นอกจากนี้ยังมีการใช้ไคโตซานในการเจือจางสีของน้ำเสียที่ได้จากโรงงานผลิตยาง (Trung, Chuen-How and Stevens, 2003) ดูดซับสีขมิ้นจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเครื่องหอม (วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน และคณะ, 2546) กำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม (นัยนันทน์ อริยกานนท์, กัญญาภรณ์ คมคาย, และวัจนา ประจงมูล, 2546) และใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานที่ผลิตกรดมะนาว (สายรุ้ง เทพกรรณ์ และคณะ, 2546)

5.4. การประยุกต์ใช้ในด้านการพัฒนาวัสดุ (Materials development applications)

ในต่างประเทศ ไคติน-ไคโตซานถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ ฟิล์ม เส้นใย สิ่งทอ และซีเมนต์ มาเป็นเวลานานแล้ว (Muzzarelli, 1976) สำหรับในประเทศไทยได้มีการทดลองนำไคติน-ไคโตซานไปใช้ในการผลิตวัสดุต่าง ๆ เช่น Siloxane-modified chitosan films (Rutnakornpituk Boonchu and Phinyocheep, 2003) Chitosan/Poly(Styrene Sulfonate) assembled thin film (Hoven, et al., 2003) เส้นใยเรยอนผสมไคโตซาน (วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน และคณะ, 2546) แผ่นฟิล์มไคโตซานบางชนิดสำหรับแยกและการเจือจางแบบออนไลน์ (Punyodom et al., 2003) และการทำฟองน้ำที่สลายตัวทางชีวภาพได้ (ภูริวัฒน์ ลี้สวัสดิ์, ศิริชัย เจียตระกูล, และสุภาณุพงศ์ ศรีวิชัย, 2546) เป็นต้น

5.5. การประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตร (Agricultural applications)

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพบว่าไคติน-ไคโตซานได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตรในรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ อาทิเช่น การนำไปใช้เพื่อในการปกป้องเมล็ดพันธุ์พืชและผลผลิต การนำไปใช้เป็นสารกระตุ้น หรือเร่งเจริญเติบโตของพืช การนำไปใช้ในการป้องกันโรคพืช รวมถึงการนำไปใช้ในรูปแบบของปุ๋ยชีวภาพ เป็นต้น

5.5.1. ไคโตซานกับการเจริญเติบโตของพืช

ในช่วงเวลา 3-4 ปี ที่ผ่านมา ไคโตซานได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในด้านการเกษตรของประเทศไทย โดยเกษตรกรได้ใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช จากการศึกษาทดลองที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าไคโตซานสามารถเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด การรอดชีวิตของต้นกล้า (Wongchai et al., 2004) ย่นระยะเวลาการงอกของเมล็ดให้สั้นลง เร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณผลผลิตทำให้เก็บผลผลิตได้เร็วและมากขึ้น (สถิต พูลทรัพย์, 2543) แต่ทั้งนี้การตอบสนองของพืชที่มีต่อไคโตซานในแต่ละกรณีจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดและความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ รวมถึงวิธีการให้ไคโตซาน และวิธีการเพาะปลูกอีกด้วย

ไคโตซานสามารถกระตุ้นและชักนำให้เกิดการสร้างดอกในพืชได้เมื่อใช้ใน ชนิด รูปแบบ และความเข้มข้นที่เหมาะสม จากการให้ไคโตซานโดยการพ่นทุก 1 สัปดาห์แก่กล้วยไม้สกุลหวาย (*Dendrobium* 'EISKUL') ที่ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 68 สัปดาห์ พบว่าไคโตซานสามารถกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มจำนวนช่อดอกต่อต้นในกล้วยไม้ชนิดนี้ได้ ซึ่งไคโตซานที่แสดงผลดังกล่าวมีชนิดและความเข้มข้นต่าง ๆ กันคือ ชนิด 70 % DD Oligomeric chitosan ที่ความเข้มข้น 100 ppm ชนิด 80 % DD Oligomeric chitosan ที่ความเข้มข้น 1 10 50 และ 100 ppm ชนิด 90 % DD polymeric chitosan ที่ความเข้มข้น 10 และ 50 ppm และชนิด 90 % DD Oligomeric chitosan ที่ความเข้มข้น 1 ppm สำหรับไคโตซานชนิด 70 % DD Polymeric chitosan ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 80 % DD Oligomeric chitosan ที่ความเข้มข้น 10 ppm นั้น สามารถกระตุ้นให้กล้วยไม้ชนิดนี้มีจำนวนดอกต่อช่อ เพิ่มมากขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยไม้ที่ได้รับไคโตซานทุกชนิดและทุกความเข้มข้นที่ทดสอบสามารถออกดอกได้เร็วกว่าต้นในชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ (Limpanavetch et al., 2004) นอกจากนี้ยังพบรายงานการทดลองเบื้องต้นว่า ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 10-15 ppm มีผลต่อการเพิ่มจำนวนโพรโทคอร์ม ของเอื้องเงินหลวง (*Dendrobium formosum* Roxb. Ex Lindl) และ *Dendrobium* 'EISKUL' และมีผลต่อการเติบโตของต้นอ่อนของเอื้องสายสามสี (*Dendrobium crystallinum* Rchb.f.) และรองเท้านารี (*Paphiopedilum sanderianum* (Rchb.f.)) มากไปกว่านั้น ไคโตซานที่ความเข้มข้น 10 ppm ยังมีผลกระตุ้นการเกิดรากของต้นอ่อนกล้วยไม้เอื้องเงินหลวงอีกด้วย ทั้งนี้สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองก็มีผลต่อการตอบสนองของกล้วยไม้ต่อไคโตซานด้วยเช่นกัน (พัชรา ลิมปนะเวช,

2548) สำหรับการแช่ต้นกล้วยไม้รองเท้านารีลูกผสมระหว่าง *P. bellatulum* (Rchb.f) และ *P. angthong* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.5 5.0 10.0 20.0 และ 40.0 ppm ก่อนทำการย้ายปลูกร่วมกับการพ่นทางใบทุก ๆ 7 วัน เป็นเวลา 2 เดือน พบว่าไคโตซานสามารถกระตุ้นให้ต้นกล้วยไม้ดังกล่าวงอกราก สร้างใบใหม่ และมีขนาดใบที่ใหญ่และยาวขึ้น อีกทั้งมีการรอดชีวิตสูงกว่ากล้วยไม้ในชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน (ชนัสพร เกลี้ยงแก้ว สุวลี จันทร์กระจ่าง และพัลภา เสวตศิลา, 2546) และจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้สกุลหวาย *Dendrobium* ด้วยอาหารเหลวสูตร Vacin and Went ที่มีการเติมไคโตซานแบบ Oligomer ที่ความเข้มข้น 5 10 15 20 และ 25 ppm หลังจากทำการเพาะเลี้ยงไป 6 สัปดาห์ พบว่าโพรโทคอร์มของกล้วยไม้ที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่มีไคโตซานที่ความเข้มข้น 15 ppm จะมีน้ำหนักสดมากที่สุด และจากการให้ไคโตซานที่ความเข้มข้นดังกล่าวแต่มีขนาดโมเลกุลต่างกันพบว่า ไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลแบบ Oligomer สามารถชักนำให้โพรโทคอร์มของกล้วยไม้ มีน้ำหนักสดมากที่สุดเมื่อเลี้ยงได้ 3 และ 6 สัปดาห์ ในขณะที่การให้ไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุล 10 kDa และ 100 kDa ให้ผลรองลงมาตามลำดับ สำหรับการทดลองที่เปรียบเทียบเฉพาะการให้ไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุล 10 kDa ที่ผลิตจากเปลือกกุ้งและจากเชื้อรา พบว่าน้ำหนักสดของโพรโทคอร์มที่เลี้ยงในอาหารที่เติมไคโตซานความเข้มข้น 15 ppm ทั้งที่ผลิตจากเปลือกกุ้งและเชื้อรามีน้ำหนักมากขึ้น เมื่อทำการเพาะเลี้ยงผ่านไปได้ 6 สัปดาห์ แต่น้ำหนักสดของโพรโทคอร์มในชุดการทดลองที่เติมไคโตซานที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้งไม่ต่างจากชุดการทดลองที่ไม่ได้เติมไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ตรงกันข้ามกับน้ำหนักสดของโพรโทคอร์มในชุดการทดลองที่เติมไคโตซานที่ผลิตจากเชื้อรา ซึ่งพบว่ามากกว่าชุดการทดลองที่ได้รับไคโตซานที่ความเข้มข้น 10 และ 20 ppm อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ในการทดลองที่เปรียบเทียบการใช้ไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง เชื้อรา และ Oligomer chitosan ในการเติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ที่ความเข้มข้น 15 ppm พบว่าไคโตซานทั้ง 3 แบบมีผลทำให้น้ำหนักสดของโพรโทคอร์มของกล้วยไม้สูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รับไคโตซาน ในสัปดาห์ที่ 6 โดยน้ำหนักสดของโพรโทคอร์มกล้วยไม้ที่ได้รับไคโตซานจากเชื้อราเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในขณะที่การให้ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง มีผลทำให้น้ำหนักสดของโพรโทคอร์มเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น และขนาดโมเลกุลของไคโตซาน และแหล่งของไคโตซานที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักสดของโพรโทคอร์มกล้วยไม้แตกต่างกันออกไป (สุวลี จันทร์กระจ่าง และ คิน เล งี, 2547)

จากการศึกษาพบว่าไคโตซานมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของดอกของ Lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. 'Kairyou Wakamurasaki') ซึ่งจากการแช่เมล็ดของพืชชนิดนี้ในไคโตซานที่ความเข้มข้น 1 % (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนปลูก และใช้ไคโตซานผสมในวัสดุปลูกในอัตราส่วน 1 % (w/w) พบว่า การผสมไคโตซานในวัสดุปลูกมีผลทำให้ความยาวของยอด ลำต้น ขนาดของใบ และน้ำหนักแห้งของต้นและรากสูงกว่าชุดการทดลองที่

ไม่ได้รับไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ในสัปดาห์ที่ 8 และ 11 ของการเพาะปลูก แต่การแช่เมล็ดในไคโตซานก่อนการปลูกนั้นให้ผลไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไคโตซานผสมในวัสดุปลูกดังกล่าวมีผลทำให้ Lisianthus ออกดอกเร็วขึ้น มีจำนวนดอก น้ำหนักของดอก และคุณภาพของดอกสูงกว่าชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (Ohta et al., 1999) นอกจากนี้ไคโตซานยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่น น้ำตาลกลูโคส (Glucose) กาแลคโตส (Galactose) ฟรุกโตส (Fructose) และ แรมโนส (Rhamnose) เพื่อศึกษาผลที่มีต่อการเติบโตและการสร้างสีในกลีบดอกของ Lisianthus พันธุ์ Asuka no Asa Mickey Rose และ Royal Violet โดยเปรียบเทียบระหว่างตาดอกที่แช่ในไคโตซานและ/หรือน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ในหลอดทดลอง และเปรียบเทียบกับตาดอกที่เติบโตบนต้นซึ่งให้ไคโตซานทางใบ พบว่า ชนิดพันธุ์พืชทดลอง ชนิดของน้ำตาล และวิธีการให้ไคโตซาน มีผลต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงของสีของกลีบดอกแตกต่างกัน เช่น ในการแช่ตาดอก Lisianthus พันธุ์ Asuka no Asa ในน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีตาดอกขนาดใหญ่กว่าตาดอกของชุดการทดลองควบคุม แต่ตาดอกที่แช่ในสารละลายน้ำตาลร่วมกับไคโตซานกลับให้ผลไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุม ในขณะที่ตาดอก Lisianthus พันธุ์ Mickey Rose ที่แช่ในน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว หรือมีการแช่ในไคโตซานร่วมกับน้ำตาลชนิดต่าง ๆ พบว่าขนาดของตาดอกไม่มีความแตกต่างจากชุดการทดลองควบคุม อย่างไรก็ดีตาดอกของ Lisianthus พันธุ์ Asuka no Asa ที่แช่ในน้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลฟรุกโตสเพียงอย่างเดียว หรือที่แช่ในน้ำตาลชนิดต่าง ๆ (ยกเว้นน้ำตาลกาแลกโตส) ร่วมกับไคโตซาน มีผลชักนำให้มีการสร้าง Anthocyanin ในกลีบดอกในปริมาณที่สูงกว่าชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองครั้งนี้ยังพบว่าในชุดการทดลองที่แช่ตาดอกในไคโตซานเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อการสร้าง Anthocyanin อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตรงกันข้ามกับชุดการทดลองที่ให้ไคโตซานทางใบในแปลงทดลอง นอกจากนี้พบว่าการแช่ตาดอกในสารละลายน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ร่วมกับไคโตซาน และการให้ไคโตซานเพียงอย่างเดียวแก่ Lisianthus พันธุ์ Royal Violet ที่ปลูกในแปลงทดลอง พบว่ามีปริมาณ Anthocyanin ในกลีบดอกเพิ่มขึ้น (Uddin et al., 2004)

ไคโตซานยังมีผลต่อการเติบโตของเยอบีร่า (*Gerbera jamesonii* Bolus) โดยพบว่าการให้ไคโตซานแก่เยอบีร่าในระยะ vegetative growth จนพืชมีอายุครบ 3 เดือน พบว่าเยอบีร่ามีจำนวนใบ ขนาดใบ ความยาวของก้านดอก และจำนวนช่อดอกเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ (Wanichpongpan, Suriyachan and Chandkrachang, 2000)

ในการทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการเติบโตของคะน้า (*Brassica alboglabra* Bailey) และพริก (*Capsicum* sp.) โดยการฉีดพ่นไคโตซาน (Biochem-2, บริษัทแมเนจเมนท์ เอ็กซ์เซลเลนท์ กรุ๊ป จำกัด กรุงเทพมหานคร) ที่ความเข้มข้น 3.75 7.50 11.25 และ 15.0 ppm ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 2 เดือน พบว่ามีผลทำให้น้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้นของคะน้าที่เก็บเกี่ยวได้สูงกว่าคะน้าที่ไม่ได้รับไคโตซาน และ สามารถชักนำให้พริกมีลำต้นสูงกว่าชุดการทดลอง

ควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 3.75 ppm มีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำหนักสดของคะน้าและความสูงของพริกที่วัดได้ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป สูงกว่าการให้ไคโตซานที่ความเข้มข้นอื่น ๆ (สุวลี จันทร์กระจ่าง, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, และ สมชาย ต่วนต่าย, 2546)

การใช้ไคโตซานในรูปของไคโตเจล (Chitogel) ที่ความเข้มข้น 1.75 % (v/v) ผสมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ Martin et al. medium (1987) เพื่อเพาะเลี้ยงตายอดขององุ่น (*Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay clone 7535) พบว่า ไคโตเจลที่ความเข้มข้นดังกล่าวสามารถชักนำให้ยอดองุ่นที่เพาะในหลอดทดลองมีความยาวมากที่สุด โดยต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามยังพบว่าการให้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 1.75 % (v/v) กลับส่งผลให้ยอดองุ่นเจริญเติบโตได้น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.75 % (v/v) ส่งเสริมให้รากองุ่นเจริญเติบโตดีขึ้น มีการแตกแขนงมากกว่าปกติ และจากการวัดความยาวลำต้น นับจำนวนข้อ วัดน้ำหนักแห้งของยอดและราก รวมถึงมวลชีวภาพทั้งหมด พบว่าองุ่นที่ได้รับไคโตซานมีค่าการเติบโตต่าง ๆ ข้างต้น สูงกว่าองุ่นในชุดการทดลองควบคุมทั้งสิ้น สำหรับการสังเคราะห์แสงพบว่าต้นองุ่นที่ปลูกเลี้ยงในอาหารที่มีไคโตเจลสามารถผลิตก๊าซออกซิเจน (O_2 production (nmol $min^{-1}cm^{-2}$)) และตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation (μmol $m^{-2}s^{-1}$)) ได้มากกว่าต้นองุ่นในชุดควบคุม และจากการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงพบว่า ไคโตเจลสามารถกระตุ้นให้ต้นองุ่นสังเคราะห์แสงได้มากขึ้นอีกด้วย (Barka et al., 2004)

มีรายงานการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าการให้ไคโตซานสามารถช่วยลดความเสียหายในพืชที่ได้รับพิษโลหะหนักได้ (วานาเดียม) โดยเมื่อให้ไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาขนาด 70-200 kGy ที่ความเข้มข้น 200 μg/ml สามารถลดการสะสมของธาตุวานาเดียมในยอดและรากของต้นกล้าข้าว (*Oryza sativa* L.) ได้ 75 % และ 45 % ตามลำดับ ส่วนในต้นกล้าข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ลดได้ 86% และ 21.38% ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าน้ำหนักแห้งของต้นกล้าพืชทั้งสองชนิดที่ได้รับไคโตซาน มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองควบคุม โดยการให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 100 μg/ml ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นข้าวและข้าวสาลีเพิ่มขึ้น 8 % และ 41 % ตามลำดับ สำหรับไคโตซานที่ความเข้มข้น 200 μg/ml ทำให้น้ำหนักแห้งต้นของข้าวและข้าวสาลีเพิ่มขึ้นได้ 24 % และ 40 % ตามลำดับ (Tham et al., 2001) และจากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นและผลผลิตของข้าวฟ่าง (*Seteria italica* (L.) P. Beauv.) ที่ได้รับไคโตซานสูตร Elexa™ พบว่าไคโตซานสามารถกระตุ้นให้ข้าวฟ่างมีการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตที่ดีขึ้น โดยการแช่เมล็ดข้าวฟ่างด้วยไคโตซานที่มีความเข้มข้นประมาณ 2,000 ppm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีผลทำให้เมล็ดข้าวฟ่างมีอัตราการงอก (% germination) และมีความมีชีวิต (Vigour index) สูงขึ้น นอกจากนี้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวยังสามารถชักนำให้ข้าวฟ่างมีความสูงของต้น ขนาดของรวงและ

น้ำหนักของเมล็ดสูงกว่าข้าวฟ่างในชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน อย่างมีนัยสำคัญ (Sharathchandra et al., 2004)

5.5.2. ไคโตซานกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชทั้งภายในและภายนอกนั้นเกิดขึ้นได้จากหลากหลายปัจจัย เช่น การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช เช่น น้ำ ธาตุอาหาร แสง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมที่พืชนั้นอาศัยอยู่ เช่น สภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมน หรือแม้กระทั่งการได้รับการกระตุ้นจากเชื้อโรคหรือสารเคมี เป็นต้น ไคโตซานเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่ารูปแบบ และความเข้มข้นของไคโตซานที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชที่แตกต่างกันออกไปด้วย เช่น

จำนวนเวลาในการได้รับไคโตซานมีผลต่อการสังเคราะห์แคลโลส (Callose) และอนุพันธ์ของ Coumarin ในเซลล์ของ Parsley (*Petroselinum crispum* (Mill) A.W. Hill) แตกต่างกัน โดยพบว่าเมื่อให้ไคโตซานแบบ 22 % N-acetylation ที่มี Degree of polymeriza - tion (DP) เท่ากับ 3,420 น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 753,000 kDa ลงในอาหารเลี้ยงเซลล์ ที่ความเข้มข้น 150 µg/ml พบว่าปริมาณของแคลโลสในเซลล์สูงขึ้น หลังจากเลี้ยงเซลล์ไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และจากนั้นจึงลดลงตามลำดับ ในขณะที่การสะสมของ Coumarins ในเซลล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพาะเลี้ยงไปได้ 36 ชั่วโมง จากนั้นการสะสม Coumarins ก็จะลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ดีพบว่าความเข้มข้นของไคโตซานที่ให้มีผลต่อการสะสมแคลโลส และ Cumsrins เช่นกัน โดยจากการทดลองนี้จะพบว่า การให้ไคโตซานแบบ 0 % N-acetylation และแบบ 22 % N-acetylation ที่ความเข้มข้น 70 µg/ml จะทำให้การสะสมของสารทั้งสองชนิดนี้ในเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อค่า DP ของไคโตซานทั้งสองแบบสูงขึ้นด้วย เมื่อวัดการสร้างแคลโลสในเซลล์ Parsley ที่ให้ไคโตซานแบบ 22 % N-acetylation ที่มี DP เท่ากับ 3,420 เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง พบว่าการสร้างแคลโลสจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ในทางตรงกันข้ามพบว่าการให้ไคโตซานแบบ 0 % N-acetylation ที่มี DP เท่ากับ 2,500 จะส่งผลให้มีการสร้างแคลโลสเพิ่มขึ้นเมื่อให้ไคโตซานที่ความเข้มข้นไม่เกิน 150 µg/ml แต่หากความเข้มข้นของไคโตซานในอาหารเพิ่มขึ้น การสร้างสารดังกล่าวจะมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้การทดลองที่ใช้เซลล์ของ parsley ที่ทำการเพาะเลี้ยงมาแล้ว 7 วัน จากนั้นแยกไปเลี้ยงใน growth medium ที่เตรียมใหม่ ที่เติมไคโตซานแบบ 22 % N-acetylation ที่มี DP เท่ากับ 3,420 ที่ความเข้มข้น 25 µg/ml พบว่าภายหลังให้ไคโตซานไปแล้ว 24 ชั่วโมง การสร้าง Coumarins ภายในเซลล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานที่ให้สูงขึ้น การให้ไคโตซานแก่เซลล์ parsley ที่ความเข้มข้นไม่เกิน 100 µg/ml ร่วมกับ Reduced Glutathione

(GSH) ความเข้มข้น 1 mM สามารถชักนำให้เกิดการสร้าง Coumarins ได้ ภายในเวลา 25 ชั่วโมง และยังสามารถชักนำให้เกิดการสร้างแคลโลสได้มากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รับ GSH ภายใน 4.5 ชั่วโมงหลังได้รับไคโตซาน ทั้งนี้การสร้างแคลโลสยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Conrath, Domard, and Kauss, 1989)

ในข้าวพบว่าไคโตซานสามารถกระตุ้นให้การทำงานของเอนไซม์ Cyclase ที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์สารในกลุ่ม Diterpene ให้สูงขึ้นได้ โดยพบว่าการให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 100 และ 200 µg/ml ในอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อ สามารถชักนำให้การทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวสูงขึ้นได้ในแคลลัสของข้าวที่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวแบบ B5 medium ที่เติม 2,4-D ความเข้มข้น 0.45 µM (Ren and West, 1992)

ไคโตซานจากเปลือกปูที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.7 สามารถกระตุ้นให้ *Plumbago rosea* L. มีการสร้างสาร Plumbagin (5-hydroxy, 2-methyl, 1-4 naphthoquinone) ซึ่งเป็นสารทุติยภูมิในกลุ่ม naphthoquinone ที่พืชผลิตขึ้นได้ Plumbagin ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม โดยพบว่าสารดังกล่าวสามารถออกฤทธิ์ต้านมะเร็ง ต้านสารก่อมะเร็งและต้านจุลชีพต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถผลิตสารดังกล่าวในปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงการค้าได้ อีกทั้งการปลดปล่อยสารดังกล่าวออกจากเซลล์ที่เลี้ยงยังทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการคิดค้นวิธีต่าง ๆ ที่จะเพิ่มปริมาณของสาร Plumbagin ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ การใช้ไคโตซานผสมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีหนึ่งที่คาดว่าจะช่วยเพิ่มปริมาณของ Plumbagin ได้ เนื่องจากไคโตซานเป็น Elicitor ที่อาจช่วยกระตุ้นการสร้างสารดังกล่าว ซึ่งจากการทดลองเลี้ยงเซลล์ของ *P. rosea* L. ในอาหารเหลวสูตร MS ที่เพิ่ม $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 10 mM และเติมไคโตซานที่ผลิตมาจากเปลือกปูที่ความเข้มข้น 200 mg/l พบว่าเซลล์ของพืชชนิดนี้สามารถผลิต Plumbagin ได้มากกว่าเซลล์ที่ไม่ได้รับไคโตซานถึง 8 เท่า และสารดังกล่าวยังถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์สู่อาหารเพาะเลี้ยงถึง 73.34 % ทำให้การแยกสารดังกล่าวให้บริสุทธิ์ไปใช้เป็นไปได้โดยง่าย (Komaraiah et al., 2003)

นอกจาก Plumbagin ไคโตซานยังสามารถกระตุ้นการสร้างสารทุติยภูมิในกลุ่ม Anthraquinone ในพืชได้เช่นกัน ซึ่งสารดังกล่าวกำลังได้รับความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางเภสัชกรรม ซึ่งจากการเลี้ยงเซลล์ของ *Rubia tinctorum* ในอาหารเหลวสูตร B5 ที่ผสมไคโตซานที่ความเข้มข้น 200 mg/l พบว่าเซลล์ของพืชดังกล่าวสามารถผลิตสาร Anthraquinone ได้มากกว่าเซลล์ที่ไม่ได้รับไคโตซานถึง 2 เท่าภายหลังทำการเพาะเลี้ยงไปแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของสารดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้จะเลี้ยงเซลล์ต่อไปจนครบ 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้นดังกล่าวสามารถกระตุ้นกลไกการทำงานของ Phospholipase C (PLC) ซึ่งเป็นสารที่ไปกระตุ้นการสร้าง Secondary messengers เช่น Ca^{2+} ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณกระตุ้นการทำงานของ Protein kinase C (PKC) ได้ อย่างไรก็

ตามการเลี้ยงเซลล์ของพืชชนิดนี้ในภาวะที่มีการสร้างสาร Anthraquinone และมีตัวยับยั้งการทำงานของ PLC เช่น Neomycin พบว่าหลังจากเซลล์ได้รับ Neomycin นาน 30 นาที ปริมาณของสาร Anthraquinone จะลดลง แต่หากมีการเติมไคโตซานที่ความเข้มข้น 200 mg/l ลงในอาหารเลี้ยงเซลล์ดังกล่าวจะช่วยชะลอการลดลงของสาร Anthraquinone ให้ช้าลงได้ (Vasconsuelo et al., 2004) และในการเลี้ยงเซลล์ *R. tinctorum* L. แบบแขวนลอยในอาหารเหลวสูตร B5 ที่ผสมไคโตซานจากเปลือกปู พบว่าสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้าง Mitogen Activated Protein Kinase (MAPK) ซึ่งจะทำให้มีการสร้างสาร Anthraquinone มากกว่าปกติ โดยเมื่อทำการสกัดโปรตีนและตรวจสอบด้วยวิธี Western Blot Analysis พบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 200 mg/l สามารถกระตุ้นการสร้าง MAPK ได้ อย่างไรก็ดีหากมีการเติมสารยับยั้งการทำงานของ MAPK เป็นเวลา 10-15 นาทีก่อนที่จะมีการเติมไคโตซานพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง การสร้างสาร Anthraquinone ในเซลล์ที่ได้รับไคโตซานจะไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมมากนัก จากการศึกษาทั้งหมดในข้างต้น ทำให้ทราบว่าไคโตซานมีผลชักนำให้เกิดการสร้างสาร Anthraquinone ได้โดยผ่านกลไกของ Ca^{2+} ซึ่งเป็น Secondary messenger โดยผ่านทาง PLC/PKC Pathway และ PKC จะไปกระตุ้นให้เกิดการสร้าง MAPK เพื่อกระตุ้นการสร้าง Anthraquinone ต่อไป (Vasconsuelo, Giulietti and Boland, 2004) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสาร Anthraquinone ของเซลล์ mengkudu kecil (*Morinda elliptica* Ridl.) พืชสมุนไพรพื้นบ้านของประเทศมาเลเซีย โดยได้ทำการเลี้ยงเซลล์แบบแขวนลอยในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร G Medium ที่เติมไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 0.25 g/l พบว่าเซลล์ที่เลี้ยงในอาหารที่มีไคโตซาน 0.01 g/l ที่อายุ 13 วัน จะมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ไม่พบว่ามีความแตกต่างกับชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มสูงขึ้นกลับส่งผลให้น้ำหนักแห้งของเซลล์มีแนวโน้มลดลง แต่เป็นที่น่าสนใจว่าในอาหารที่เติมไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.25 g/l ซึ่งเซลล์มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดแต่กลับมีการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสาร Anthraquinone ในปริมาณที่สูงมากกว่าชุดการทดลองอื่น (Chong et al., 2005)

ในมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* L.) ไคโตซานที่สกัดจากผนังเซลล์ของเชื้อรา สามารถกระตุ้นให้ปากใบปิดแคบลงได้ โดยไคโตซานจะกระตุ้นให้มีการสร้าง H_2O_2 มากขึ้นในเซลล์คุม จากการศึกษาด้วยวิธี Microphotography พบว่าหลังจากได้รับไคโตซานเป็นเวลา 30 นาที เซลล์คุมของใบมะเขือเทศ จะมีการสร้าง H_2O_2 ในปริมาณที่มากขึ้นโดยเฉพาะในบริเวณที่มี Chloroplasts หนาแน่นมาก ๆ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อลอยเนื้อเยื่อผิวใบของมะเขือเทศในสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 100 และ 200 µg/ml เป็นเวลา 120 นาที แล้วทำการวัดขนาดความกว้างของปากใบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วย Eyepiece micrometer พบว่าความกว้างของปากใบแคบลงเหลือเพียง 59.0 % และ 62.0 % เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ได้รับไคโตซานตามลำดับ (Lee et al., 1999) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ H_2O_2 ในเซลล์คุมของปากใบนี้ ส่งผลกระทบถึง

ระดับแคลเซียมไอออนภายในที่สูงขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้แรงดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์คุมลดลง ดังนั้นปากใบจึงปิดแคบลง (McAinsh et al., 1996) ทั้งนี้มีรายงานถึงผลของไคโตซานที่ให้โดยการฉีดพ่นทางใบ ที่สามารถลดการคายน้ำ (Antitranspiration) ในใบพืชได้ โดยพบว่าเมื่อพ่น ไคโตซานทางใบให้กับพริก (*Capsicum* sp.) สามารถลดการคายน้ำได้ถึง 26-43 % ในขณะที่ยังรักษาน้ำหนักมวลชีวภาพไว้ได้ และอัตราส่วนของมวลชีวภาพต่อปริมาณน้ำของต้นพริกที่ได้รับ ไคโตซานสูงมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน ดังนั้นการให้ไคโตซานแก่พริกอาจช่วยลดปริมาณการใช้น้ำระหว่างการเพาะปลูกได้ (Bittelli et al., 2001) ซึ่งจากการศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์ทาง Histochemical พบว่าไคโตซานจะกระตุ้นการปิดของปากใบ โดยยับยั้งการสะสมของโพแทสเซียม (K) ใน Guard Cells ซึ่งจะทำให้กลไกการควบคุม Osmotic Potential ภายในเปลี่ยนไป ทำให้ปากใบปิดและส่งผลให้การคายน้ำลดลง (Bittelli et al., 2001)

5.5.3. ไคโตซานกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของพืช

ผลผลิตที่ได้จากการเจริญเติบโตของพืช เช่น ลำต้นและใบ ดอก ฝัก ผล เมล็ด และรากสะสมอาหารของพืชชนิดต่าง ๆ ภายหลังจากเจริญเติบโตเต็มที่ หรือเจริญเติบโตจนได้ขนาดตามความต้องการในการบริโภคแล้ว ต้องรีบทำการเก็บเกี่ยวเพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสียของผลผลิตที่จะได้ อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยว เซลล์ของพืชในส่วนต่าง ๆ ของผลผลิตยังคงมีชีวิตและดำเนินเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยซึ่งนำไปสู่การสูญเสียคุณภาพของผลผลิตด้านต่าง ๆ เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียความแน่นเนื้อ การการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ การเปลี่ยนแปลงลักษณะสีของผิว และเนื้อของผลผลิต รวมถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางรูปทรงของผลผลิต ส่งผลให้ผลผลิตพืชที่เก็บมามีอายุในการเก็บรักษาสั้นลง เกิดลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ทำให้ต้องสูญเสียผลผลิตดังกล่าวไปอย่างไร้ประโยชน์ และนำมาซึ่งการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงได้มีความพยายามที่จะหาวิธีการชะลอการเสื่อมถอย และลดการสูญเสียคุณภาพของผลผลิต โดยมีรูปแบบ และวิธีการต่าง ๆ รวมถึงการใช้สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น แต่สารเคมีชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้สืบต่อกันมาเป็นระยะเวลานาน หลายชนิดมีผลข้างเคียงที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงได้มีความพยายามที่จะนำสารชีวภาพ เช่น ไคโตซาน มาใช้ทดแทนสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่เป็นพิษ ในการช่วยเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว เช่น

จากการใช้ไคโตซานร่วมกับสารสกัดจากพืชธรรมชาติพบว่าการใช้ไคโตซานผสมกับสารสกัดจากเมล็ดมะละกอ (*Carica papaya* L.) มีแนวโน้มที่จะทำให้ผลมะละกอสายพันธุ์ Maradol สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีกว่าการไม่ใช้ไคโตซาน แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) และ 1.5 % (w/v) ทั้งที่ผสมสารสกัดจากเมล็ดมะละกอและไม่ผสม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้ และเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา (Bautista-Baños et al., 2003)

จากการศึกษาการใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 หรือ 2.0 g/100 ml ในการเคลือบผิวของแห้วจีน (*Eleocharis tuberose* (Roxb.) Roem. & Schult) พบว่าไคโตซานสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกแห้วจีนได้ โดยวัดได้จากการลดลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ Phenylalanine Ammonia Lyase (PAL) Polyphenol Oxidase (PPO) และ Peroxidase (POD) รวมถึงการลดลงของปริมาณสาร Phenolic compounds นอกจากนั้นไคโตซานยังช่วยชะลอการลดลงของ Titratable acidity วิตามินซี และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) อีกทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแห้วจีนให้ยาวขึ้น ในขณะที่คุณภาพของผลผลิตยังคงเดิม (Pen and Jing, 2003)

เมื่อนำไคโตซานที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้งมาทำการฉีดพ่นให้แก่ต้นสตรอเบอรี่ (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne) พันธุ์ Seascape พบว่า การพ่นไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 4.0 และ 6.0 g/l ให้แก่ต้นสตรอเบอรี่ในระยะที่ผลกำลังเปลี่ยนเป็นสีแดงนั้น สามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ได้นานกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน อีกทั้งยังพบว่าการพ่นไคโตซานช่วยลดความเสียหายของผลที่เกิดจากการเก็บผลผลิตได้ และการใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 6.0 g/l สามารถป้องกันความสูญเสียและช่วยรักษาคุณภาพของผลสตอเบอรี่ที่เก็บภายหลังการพ่นไคโตซานได้นานถึง 4 สัปดาห์ (Reddy et al., 2000) และจากการศึกษาผลของการใช้ไคโตซานที่มีต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 50 ที่ปลูกบริเวณบ้านห้วยน้ำผัก ต. แสงภา อ. นาแห้ว จ.เลย โดยใช้ผลสตรอเบอรี่ที่มีระดับความสุกแก่ 75 % จุ่มในไคโตซานที่ความเข้มข้น 60 80 และ 100 ppm เป็นเวลา 2 นาที แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน พบว่าผลสตรอเบอรี่ที่จุ่มในไคโตซานที่ความเข้มข้น 100 ppm ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด โดยดูจากลักษณะภายนอกของผลสตรอเบอรี่ และมีจำนวนของผลสตรอเบอรี่ที่เป็นโรคน้อยที่สุด แต่ทั้งนี้ระดับความรุนแรงของโรคไม่แตกต่างจากชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (ปัทมา วิศาลนิตย์ และคณะ, 2546) สำหรับการศึกษาไคโตซานในรูปสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษา และกระตุ้นการดูดซึมธาตุอาหารในผลของสตรอเบอรี่ และราสเบอรี่ (*Rubus ideaus* L.) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 88 % ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ – 23 °C พบว่าผลไม้ทั้งสองชนิดที่จุ่มในไคโตซาน 2 % (w/v) ในสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 % จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 10 วินาที มีการชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงของสีผล ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่า Titratable acidity อีกทั้งยังลดการสูญเสียน้ำในผล และช่วยรักษาคุณภาพของผลผลิตได้ตลอดการเก็บรักษา นอกจากนี้การเคลือบผลสตรอเบอรี่ โดยใช้ไคโตซานที่มีธาตุแคลเซียมและวิตามินอีผสม พบว่าปริมาณของธาตุอาหารทั้งสองชนิดที่พบภายในผลสดและผลที่แช่แข็งเพิ่มสูงขึ้น (Han et al., 2004)

การใช้ไคโตซานจากกระดองปูที่ความเข้มข้น 1 % (w/v) หรือ 2 % (w/v) ในการเคลือบผิวของผลลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn. cv. Huaizhi) แล้วเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ภายใต้สภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 90 % พบว่าการเคลือบผลด้วยไคโตซานสามารถชะลอการเกิดผิวสีน้ำตาลในลิ้นจี่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานสามารถกระตุ้นให้เกิดการชะลอการสะสมสาร anthocyanin flavonoid และ phenolics อีกทั้งยังชะลอการเพิ่มขึ้นของการทำงานของเอนไซม์ Polyphenol Oxidase (PPO) และยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Peroxidase (POD) ได้ นอกจากนี้การเคลือบผลด้วยไคโตซานยังลดการสูญเสียน้ำหนักสดของลิ้นจี่ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการเคลือบผลด้วย ไคโตซาน 2 % (w/v) ให้ผลไม่แตกต่างจากไคโตซาน 1 % (w/v) และผลของไคโตซานที่มีต่อการยับยั้งการเน่าเสียของผลลิ้นจี่นั้น ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน (Zhang and Quantick, 1997) ในอีกการทดลองที่ใช้ไคโตซานที่ละลายด้วยกรดซิตริกหรือกรดทาร์ทาริกในอัตราส่วน 1 % (w/w) และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 0.8 1.0 หรือ 1.3 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn) พันธุ์ Kwaï Mi ได้ โดยจากการเคลือบผิวผลลิ้นจี่ด้วยไคโตซานดังกล่าว แล้วเก็บรักษาไว้ในกล่องขนาด 60×40 ซ.ม. ที่อุณหภูมิ 10±2 °C นาน 2 สัปดาห์ พบว่าไคโตซานที่ละลายในกรดทาร์ทาริกที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 0.8 สามารถชะลอการเกิดเปลือกสีน้ำตาลของลิ้นจี่พันธุ์นี้ได้ดีที่สุด อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลลิ้นจี่ได้ดีอีกด้วย สำหรับการใช้ไคโตซานที่ละลายในกรดซิตริกที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 0.8 และ 1.0 ให้ผลคล้ายคลึงกัน ในทางตรงข้ามการใช้กรดแต่ละชนิดในการละลายไคโตซานแล้วปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เป็น 1.3 เมื่อนำมาเคลือบผลลิ้นจี่แล้ว พบว่าทำให้เปลือกของผลลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเร็วขึ้น และมีการสูญเสียน้ำหนักผลมากกว่าปกติ (Joas et al., 2005)

ไคโตซานในรูปแบบของฟิล์มซึ่งใช้ในการบรรจุหีบห่อของผลมะม่วง (*Mangifera indica* L.) สามารถช่วยให้มะม่วงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นถึง 18 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (27±1 °C) และยังคงรักษาคุณภาพของผลมะม่วง เช่น สีของเปลือกผล ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีน และปริมาณน้ำตาล ให้เกิดการเสื่อมถอยช้าลงกว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ (Srinivasa et al., 2002) ในการทดลองเคลือบผิวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวายเบอร์ 4 ของบริษัทสวนเกษตร จ.ราชบุรี ที่มีความแก่ประมาณ 80 % ด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 0 % 0.5 % 1 % และ 1.3 % (w/v) พบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 1 % (w/v) และ 1.3 % (w/v) ส ามารถลดอัตราการหายใจ การผลิตก๊าซเอทิลีน การสูญเสียน้ำหนักสด และการสูญเสียความแน่นเนื้อได้ อีกทั้งยังสามารถชะลอการสุกของมะม่วงได้นานจนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา และที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าว ยังช่วยลดอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของการเกิดโรคของผลมะม่วงได้ดีที่สุดอีกด้วย (วิษณุ นิยมเหลา, หะริน รุ่งเรืองวรวัฒน์, และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์, 2546) นอกจากนี้การใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน เมื่อใช้เป็นสารเคลือบผล ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้แตกต่างกันอีกด้วย โดยพบว่า

ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย และ ปานกลาง (ไม่ระบุขนาดน้ำหนักโมเลกุล) สามารถชะลออัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงสี และการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของมะม่วงได้ ในขณะที่การเคลือบผลด้วยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก (ไม่ระบุขนาดน้ำหนักโมเลกุล) จะสามารถชะลอการสูญเสียวิตามินซี และมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลมากที่สุด อย่างไรก็ดีไคโตซานทั้ง 3 ชนิดให้ผลไม่แตกต่างกันในการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วง (สุดคนึง พึ่มชัย, วิษณุ นิยมเหลา, และศิริชัย กัลยาณรัตน์, 2546)

ไคโตซานสามารถลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนของฝรั่ง (*Psidium guajava* L.) พันธุ์กลมสาลี่ได้ โดยเมื่อเคลือบผลฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่ จากสวนของเกษตรกร ใน อ.สามพราน จ.นครปฐม ที่มีอายุ 150 วันหลังดอกบาน ด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 1 % (w/v) แล้วผึ่งให้แห้ง เก็บรักษาไว้ที่อุณภูมิ 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 % เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง พบว่าผลฝรั่งมีอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนลดลง อีกทั้งยังพบอีกว่า การเคลือบผลฝรั่งด้วยไคโตซาน 1 % และ 1.5 % (w/v) จะชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อได้ดีกว่าและมีคะแนนคุณภาพการยอมรับของผู้บริโภค (Visual quality) ดีที่สุดเมื่อเทียบกับฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน สำหรับการสูญเสียปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส พบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานทุกระดับความเข้มข้น ให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่สามารถลดการสูญเสียดังกล่าวได้ดีกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน (มนตรี กลิ่นระรวย, วิษณุ นิยมเหลา, และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์, 2546)

5.5.4. ไคโตซานกับความต้านทานโรคพืชและการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

ในธรรมชาติเมื่อพืชถูกรุกรานจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย รา หรือไวรัสที่ก่อให้เกิดโรค พบว่าเชื้อโรคเหล่านี้จะกระตุ้นระบบป้องกันตัวเองของพืช ซึ่งประกอบด้วยการสร้างเอนไซม์และสารเคมีในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การสร้างเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ที่เกี่ยวกับการสร้างสารทุติยภูมิในกลุ่ม phenolic compounds ได้แก่ lignin และ phytoalexins (Smith, 1996) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การสร้างโปรตีนในระบบภูมิคุ้มกันตนเองของพืชแบบ systemic acquired resistance (SAR) ซึ่งได้แก่ pathogenesis-related proteins (PR-proteins) และ proteinase inhibitors รวมถึงการสร้างสารในกลุ่ม reactive oxygen species เพื่อทำลายเชื้อโรคที่เข้ามารุกรานให้อยู่ในวงจำกัดด้วยการป้องกันตนเองแบบ local acquired resistance และการเกิด hypersensitive defense reaction เป็นต้น (Agrios, 1997) มีรายงานการศึกษาหลายฉบับแสดงให้เห็นว่า ไคตินและไคโตซาน สามารถกระตุ้นระบบป้องกันตนเองของพืชได้ โดยเซลล์ของพืชที่ได้รับไคติน-ไคโตซาน จะสร้างเอนไซม์ไคติเนส และเอนไซม์ไคโตซานเนส (Hirano et al., 1991; Muzzarelli, 1976) ออกมาย่อยเชื้อราไม่ให้เจริญเติบโตรุกรานเข้าสู่เซลล์ นอกจากนี้ยังสามารถกระตุ้นกลไกการป้องกันตนเองของพืชผ่านทางกระบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นได้ สำหรับ Octadecanoid signaling pathway ไคโตซานจะกระตุ้นเซลล์พืชให้เกิดการส่ง

สัญญาณผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วชักนำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ linoleic acid ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสะสม Jasmonic acid ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น โดย jasmonic acid receptor ที่รับสัญญาณต่อจาก jasmonic acid จะทำให้เกิดการกระตุ้นการแสดงออกของยีนภายในนิวเคลียส เกิดการสังเคราะห์ proteinase inhibitors ต่อไป (Doares et al., 1995) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไคตินและไคโตซาน ต่างมีคุณสมบัติเป็น Elicitor ที่สามารถกระตุ้นระบบการป้องกันโรคในพืชได้ ทั้งนี้คุณสมบัติในการเป็น Elicitor ขึ้นอยู่กับชนิด และระดับความเข้มข้นของไคติน-ไคโตซานที่ใช้ ชนิดของพืช อายุของพืช ชนิดของเชื้อโรค และวิธีการประยุกต์ใช้สาร

จากการเพาะเลี้ยงเซลล์ของ Slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.) โดยให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 60 µg/ml แก่เซลล์พืชชนิดนี้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการสกัด mRNA แล้วนำไปศึกษาด้วยวิธี differential display northern blot analysis และ sequence analysis พบว่าไคโตซานมีผลชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ mRNA ภายในเซลล์ซึ่งส่วนใหญ่พบว่าเป็น mRNA ของยีนที่มีความเกี่ยวข้องต่อระบบการป้องกันตนเองของพืช (Mason and Davis, 1997)

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยาสูบใบใหญ่ (*Nicotiana tabacum* L.) และ *Eschscholtzia californica* Cham เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างสารทุติยภูมิ โดยทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ทั้งสองชนิดในอาหารสูตร MS จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า Conductivity ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและภายในเซลล์มีผลต่อการเพิ่มและลดการสร้างสารทุติยภูมิได้ ซึ่งจากการทดลองเติมไคโตซานลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยาสูบใบใหญ่ พบว่าการให้ไคโตซานที่อัตรา 1.0-3.0 mg ต่อกรัมน้ำหนักสดของเซลล์ มีผลทำให้ค่า Conductivity ของอาหารและภายในเซลล์สูงขึ้น และความสามารถในการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์มีมากขึ้น ส่งผลต่อการรั่วไหลของไอออนต่าง ๆ สู่นอกเซลล์มากขึ้น ซึ่งไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวยังมีผลทำให้มีการสร้างเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) เพิ่มขึ้น แต่เมื่อให้ไคโตซานในอัตราที่มากกว่า 3.0 mg ต่อกรัมน้ำหนักสดของเซลล์ กลับให้ผลในทางตรงกันข้าม อย่างไรก็ตาม สำหรับเซลล์ของ *E. californica* Cham เมื่อให้ไคโตซานในปริมาณที่สูงกว่า 0.5 mg ต่อกรัมน้ำหนักสดของเซลล์ มีผลต่อการเพิ่มค่า Conductivity ของอาหารและภายในเซลล์พืชให้สูงขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แต่กลับพบว่ามีการสร้างสารทุติยภูมิในกลุ่ม benzophenanthridine alkaloids คือ chelerythrine และ macarpine ได้น้อยลง (Brodelius et al., 1989)

จากการศึกษาความสามารถในการเป็น elicitor ของไคตินและไคโตซานชนิดต่าง ๆ ในการกระตุ้นความต้านทานโรคในข้าวสาลี โดยดูผลของการสร้างเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) การทำงานของเอนไซม์ peroxidase (POD) การสะสม lignin และการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งภายในและภายนอกของใบข้าวสาลี โดยไคตินและไคโตซานที่ใช้คือไคตินแบบ Chitooligosaccharides คือ (1⟶4)-linked 2-acetamido-2-deoxy-Beta-D-glucopy-

ranose (GlcNAc) และไคโตซาน คือ (1⟶4)-linked GlcNAc and 2-amino-2-deoxy-Beta-D-glucopyranose (GlcN) ที่มีค่าเฉลี่ยของ degree of polymerization (DPs) ระหว่าง 4-10 และไคโตซานแบบ *N*-Acetylated Chitosan ที่มีค่าเฉลี่ย DPs ระหว่าง 540-1,100 โดยมี % DA (Degree of acetylation) เท่ากับ 1 % 15 % 35 % 49 % และ 60 % เมื่อฉีดไคติน/ไคโตซานเข้าไปในส่วนของ intercellular space ของใบข้าวสาลีที่ปลอดโรคและไม่มีบาดแผล พบว่า 24 ชั่วโมงหลังจากการฉีด GlcNAc ที่ความเข้มข้น 1,000 µg/ml และมีค่า DPs ตั้งแต่ 7 ขึ้นไป สามารถกระตุ้นให้ใบข้าวสาลีมี POD activity สูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ PAL activity สำหรับ GlcN นั้นไม่สามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มของเอนไซม์แอคติวิตีทั้งสองชนิดข้างต้นได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไคโตซานชนิดต่าง ๆ แล้ว พบว่า ไคโตซานที่มี % DA ต่ำกว่า 20 % ที่ความเข้มข้น 100 µg/ml สามารถชักนำให้ PAL activity เพิ่มสูงกว่า POD activities ส่วนไคโตซานที่มี % DA ที่มากกว่า 35 % ขึ้นไปสามารถชักนำให้การทำงานของทั้งสองเอนไซม์สูงขึ้น แต่ไคโตซานที่มี % DA ที่มากกว่า 50 % ขึ้นไปสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ POD ได้เพียงอย่างเดียว สำหรับไคโตซานที่มี % DA เท่ากับ 35 % ที่ความเข้มข้น 0.1-100 µg/ml สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PAL ให้สูงขึ้นได้ แต่ไคโตซานที่มี % DA เท่ากับ 60 % ที่ความเข้มข้น 10-100 µg/ml เท่านั้น ที่สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองให้เพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามพบว่าทั้งไคโตซานที่มี % DA เท่ากับ 1 % และ 35 % ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1,000 µg/ml มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ทั้งสองลดลง และหลังจากได้รับไคโตซานไปแล้ว 12-24 ชั่วโมง เอนไซม์ทั้งสองชนิดจะเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าเวลาผ่านไป 36 ถึง 48 ชั่วโมง การทำงานของเอนไซม์ POD ยังคงเพิ่มขึ้น แต่การทำงานของเอนไซม์ PAL กลับลดลง และไคโตซานที่มี % DA เท่ากับ 35 % ที่ความเข้มข้น 100 µg/ml ยังสามารถทำให้ PAL activity สูงมากกว่าแบบ 1 % และ 60 % ตามลำดับ แต่กลับมีผลตรงข้ามในการทำงานของเอนไซม์ POD สำหรับการสะสม lignin บริเวณผนังเซลล์ พบว่าการให้ไคโตซานที่มี % DA เท่ากับ 35 % สามารถชักนำให้เกิดการสะสม lignin ได้มากที่สุด (Vander et al., 1998) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของไคตินและไคโตซานที่มีต่อการสร้าง lignin หลังจากเนื้อเยื่อใบเกิดบาดแผลในข้าวสาลี พบว่าเมื่อให้ไคตินที่ได้จากเปลือกปูที่อยู่ในรูป Chitooligosaccharides (GlcNAc) ที่ความเข้มข้น 4.0 mg/ml ทั้งแบบ tetramer pentamer และ hexamer สามารถชักนำให้เกิดการสร้าง lignin ตรงบริเวณขอบของรอยแผลบนใบข้าวสาลีได้ถึง 75-80 % แต่ผลเช่นนี้ไม่พบในไคตินสายสั้นกว่าเช่นแบบ monomer และ dimer สำหรับไคโตซาน (GlcN) ทั้งแบบ monomer dimer trimer และ tetramer ไม่พบว่ามีผลต่อการสร้าง lignin บนใบข้าวสาลีที่เกิดบาดแผล อย่างไรก็ตามเมื่อให้ไคโตซานที่มี % DD เท่ากับ 92 % แก่ข้าวสาลีทางใบก่อนที่จะทำให้เกิดบาดแผลกลับพบว่าสามารถชักนำให้มีการสร้าง lignin ได้ถึง 98 % (Barber, Bertram, and Ride, 1989) นอกจากนี้ไคโตซานยังมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Peroxidase ในเนื้อเยื่อรากของ Horseradish (*Armoracia lapathifolia* Gilibert) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MSRT โดยพบว่า

การผสมไคโตซานในอาหารเพาะเลี้ยงรากที่ความเข้มข้น 100 mg/l สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Peroxidase ที่อยู่ภายในรากให้สูงขึ้นได้ภายใน 48 ชั่วโมง และพบว่าการทำงานของ Peroxidase ร่วมกับอิออนที่ผนังเซลล์จะสูงมากขึ้นถึง 3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน (Flocco, Pitta-Alvarez, and Giulietti, 2001)

ในการศึกษาสมบัติการเป็น Biotic elicitor ของไคโตซาน ในการป้องกันตนเองของ Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia*) พบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.01-2.0 mg/ml สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารทุติยภูมิในกลุ่ม monoterpenes ซึ่งเป็น defensive chemicals โดยจะพบสารนี้บริเวณเนื้อเยื่อท่อลำเลียงอาหารตรงตำแหน่งที่เชื้อราเข้าทำลาย นอกจากนี้ยังพบว่า ไคโตซานสามารถกระตุ้นให้ต้นสนต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลงพวก letal bark beetle ได้ (Miller, Berryman, and Ryan, 1986) ขนาดโมเลกุลของไคโตซานยังมีผลต่อการชักนำให้เกิดการสะสมสารพวก phytoalexin และการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ โดยพบว่าไคโตซานแบบ octamer ที่ปลายโครงสร้างประกอบด้วย hydrophobic aglycon ขนาดใหญ่ สามารถชักนำให้เนื้อเยื่อส่วน endocarp ของถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L. cv. Alcan.) ให้มีการสะสม Pisatin ได้มากที่สุด รองลงมาคือ ไคโตซานที่ได้จากเปลือกกุ้ง ไคโตซานแบบ tetramer และไคโตซานแบบ hexamer ที่ปลายสายโครงสร้างประกอบด้วย methyl aglycon ตามลำดับ อย่างไรก็ดียังพบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 1.0 mg/g มีแนวโน้มทำให้มีการสะสม Pisatin น้อยลง ในขณะที่ไคโตซานแบบ octamer ที่ปลายโครงสร้างประกอบด้วย hydrophobic aglycon ขนาดใหญ่ และ แบบ native chitosan สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* ได้ ซึ่งไม่พบในการใช้ไคโตซานแบบ tetramer และ hexamer ดังที่กล่าวมาข้างต้น (Hadwiger, Ogawa, and Kuyama, 1994) สำหรับในการทดลองที่ให้ไคโตซานในการเพาะเลี้ยงแคลลัสจากเซลล์แคมเบียมลำต้นของ Bristly dewberry (*Rubus hispidus* L.) พบว่าอาหารที่ผสมไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 mg/ml และ 4.0 mg/ml สามารถชักนำให้แคลลัสผลิตเอนไซม์ lysozyme ได้มากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รับไคโตซานถึง 1.38 และ 1.87 เท่าตามลำดับ และช่วยกระตุ้นให้เกิดการผลิตเอนไซม์ Chitinase เพิ่มมากขึ้น 2 และ 3 เท่า ตามลำดับ (Bernasconi, Jolles, and Pilet, 1986)

มีรายงานการศึกษาที่พบว่าไคโตซานจากกระดองปูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm (w/v) สามารถยับยั้งการงอกของ uredospore ของราสนิม (*Puccinia arachidis* Speg.) ในต้นถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L. cv. TMV7) ได้ อีกทั้งการพ่นไคโตซานทางใบให้แก่ถั่วลิสงก่อนที่จะได้รับการปลูกถ่ายเชื้อราดังกล่าว สามารถชะลอการเกิดโรคได้นานถึง 18 วัน อีกทั้งยังช่วยลดการสร้างสปอร์ของราชนิดนี้ได้อีกด้วย ซึ่งภายหลังที่ต้นถั่วลิสงได้รับไคโตซานไปแล้ว 24 ชั่วโมง พบว่าจำนวนของ uredosori และ จำนวน uredospores ต่อ sorus ลดลง ในขณะที่ต้นถั่วลิสงที่ได้รับไคโตซานจะถูกชักนำให้มีปริมาณ กรด salicylic ภายในต้นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในวันที่ 12 หลังจากได้รับไคโตซาน ในขณะที่ปริมาณของเอนไซม์ chitinase และ beta-1,3 glucanase ใน

intercellular washing fluid จะสูงขึ้นในวันที่ 8 หลังได้รับไคโตซานจนถึงวันที่ 10 จึงลดต่ำลง นอกจากนี้การตรวจสอบ isoform ของเอนไซม์ทั้งสองชนิดด้วย วิธี Native Polyacrylamide gel electrophoresis และ Western blot analysis พบว่าเอนไซม์ทั้งสองชนิดมีลักษณะของ isoform ที่ต่างไปจากต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน (Sathiyabama and Balasubramanian, 1998)

มีการศึกษาการเกิด Hypersensitive Reaction ในถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris* L. var. Saxa) โดยทำการพ่นไคโตซานที่ได้จาก Antractic Krill ที่ความเข้มข้น 0.1 % (w/v) ให้แก่ใบของต้นถั่วที่มีอายุ 10-14 วัน ทั้งก่อนและหลังได้รับการปลูกถ่ายเชื้อ *Alfalfa mosaic virus* (ALMV) ด้วยวิธีกล ผลพบว่ามีการเกิด local lesions บนใบถั่วลดลง โดยการพ่นไคโตซานก่อนการได้รับเชื้อ 3 ชั่วโมง ถึง 5 วัน จะสามารถลดการเกิด local lesions ได้เกือบ 100 % และภายหลังจากการปลูกถ่ายเชื้อ ALMV หากมีการพ่นไคโตซานตามมาภายใน 1-4 ชั่วโมงจะช่วยให้ลดการเกิด local lesions ได้ 50-90 % อย่างไรก็ดีการใช้ไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.25 % (w/v) นั้นเป็นพิษต่อต้นถั่ว ในขณะที่การใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 % (w/v) จะมีส่วนช่วยในการลดจำนวน local lesionsได้น้อยมาก นอกจากนี้การให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.005 % (w/v) และ 0.001 % (w/v) สามารถทำให้ใบถั่วไม่แสดงอาการของการติดเชื้อไวรัสได้ 100 และ 97.2 % จากจำนวนใบถั่วทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองตามลำดับ และจากการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเกิด local lesions บนใบบริเวณที่ไม่ได้รับไคโตซาน โดยให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.1 % (w/v) ทางใบในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับการปลูกถ่ายเชื้อ พบว่าบริเวณใบที่ไม่ได้รับไคโตซานนั้นมีการลดลงของ local lesions บ้างประมาณ 50-93 % จากจำนวนใบถั่วทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง (Pospieszny and Atabekov, 1989) นอกจากนี้การพ่นหรือการทาไคโตซานที่ความเข้มข้นดังกล่าวบนใบ ยังสามารถยับยั้งการเกิด local และ systemic infection ที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสต่าง ๆ ได้แก่ ALMV *Tobacco necrosis virus* (TNV) *Tobacco mosaic virus* (TMV) *Peanut stunt virus* (PSV) *Cucumber mosaic virus* (CMV) และ *Potato virus X* (PVX) ที่พบในถั่วแขกพันธุ์อื่น ๆ เช่น cv. Saxa cv. Fana และ cv. Signal รวมไปถึง ถั่วลันเตา (*P. sativum* L.) และพืชในวงศ์ Solanaceae เช่น ยาสูบใบใหญ่ var. Samsun NN และ var. Xanthi nc ยาสูบป่า (*Nicotiana glutinosa* L.) ยาสูบ (*Nicotiana paniculata* L.) มะเขือเทศ (*L. esculentum* L.) และ *Chenopodium quinoa* Willd ซึ่ งประสิทธิภาพในการยับยั้งแตกต่างกันออกไปเป็น 3 ระดับ คือ 25-50 % 50-75 % และ 75-100 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคู่ของชนิดพืชอาศัยและไวรัสที่ใช้ในการทดลอง และยังพบว่าหากทิ้งช่วงระยะเวลาของการให้ไคโตซานแก่ต้นพืชภายหลังทำการปลูกถ่ายเชื้อไวรัสไปนานมากขึ้น ความสามารถในการยับยั้งการเกิด local lesions จะมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองใช้น้ำประปาล้างใบของต้นถั่วนาน 4-5 นาที หลังที่ได้รับการพ่นไคโตซาน จากนั้นอีก 1 วัน จึงทำการปลูกถ่ายเชื้อ ALMV ให้แก่ต้นถั่วดังกล่าว พบว่าต้นถั่วที่ได้รับการพ่นไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.01 % (w/v) สามารถยับยั้งการเกิด local lesions ได้มากกว่าต้นถั่วที่ไม่ได้รับไค โตซาน ถึง 78.6 %

และหากเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานมากขึ้นเป็น 0.05 0.1 และ 0.25 % (w/v) พบว่าไคโตซานสามารถยับยั้งการเกิด local lesions ได้มากถึง 93.6 95.7 และ 99.9 % ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.1 % (w/v) นั้นยังสามารถลดจำนวนต้นถั่วที่จะเกิด systemic infection จากเชื้อ ALMV ได้ถึง 91.66 % ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืชชนิดต่าง ๆ แล้วพบว่า การให้ไคโตซานสามารถยับยั้งการเกิด local lesions อันเกิดจากการติดเชื้อไวรัสในพืชพวกถั่วชนิดต่าง ๆ ได้มีประสิทธิภาพกว่าพืชชนิดอื่น ๆ (Pospieszny, Chirkov, and Atabekov, 1991) นอกจากการทดลองในถั่วยังมีการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าไคโตซานที่ได้จาก Antarctic krill ยังสามารถช่วยลดการเกิดโรคในมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum* L.) ได้ โดยพบว่ามันฝรั่งที่ปลูกในประเทศโปแลนด์นั้น ประสบปัญหาการติดเชื้อ *Potato spindle tuber viroid* (PSTV) ซึ่งปนเปื้อนไปตามวัสดุอุปกรณ์ที่เกษตรกรใช้ในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดการถ่ายเชื้อด้วยวิธีกลและเกิดการแพร่ระบาดของโรค ซึ่งจากการนำมีดที่ปนเปื้อนเชื้อดังกล่าวไปแช่ในไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.1 % (w/v) ก่อนนำไปถูกับใบของมันฝรั่ง พบว่าสามารถลดการติดโรคได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการพ่นไคโตซานให้แก่มันฝรั่งก่อนที่จะได้รับเชื้อดังกล่าวเป็นเวลา 4 วัน สามารถลดการติดเชื้อได้ 50-75 % และแม้ว่าทำการล้างใบด้วยน้ำเปล่า หลังจากพ่นไคโตซานแล้ว 1 นาที พบว่าไคโตซานยังสามารถกระตุ้นการป้องกันตนเองของพืชได้ ถึง 60 % ของพืชที่ทำการทดลอง ที่สำคัญพบว่าภายหลังได้รับเชื้อ viroid ไปนาน 1-3 ชั่วโมง แล้วทำการพ่นไคโตซานที่ความเข้มข้นดังกล่าวให้แก่ใบของต้นมันฝรั่ง จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการติดเชื้อดังกล่าวได้ดีที่สุด แต่ถ้าหากทำการปลูกเชื้อแก่ต้นมันฝรั่งไปนาน 5-24 ชั่วโมง แล้วค่อยทำการพ่นไคโตซานตามพบว่าประสิทธิภาพในการลดการติดเชื้อดังกล่าวจะลดลง (Pospieszny, 1997)

จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ไคตินแบบ Oligomer 10 % DD และไคโตซานซึ่งมี 92 % DD เพื่อกระตุ้นการสร้าง H_2O_2 ในเซลล์ของข้าวสาลี cv. Prelude-Sr5 ซึ่งเลี้ยงแบบแขวนลอยในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS พบว่าการเติมไคตินหรือไคโตซานลงไปในอาหารสูตร MS ที่ปรับปรุงโดยการใส่ Morpholinoethane sulfonic acid (MES) ความเข้มข้น 10 mM และน้ำตาลซูโครส 3 % (w/v) สามารถชักนำให้เซลล์ของข้าวสาลีสร้าง H_2O_2 ได้มากกว่าการเลี้ยงในอาหารสูตร MS ธรรมดา และอาหารสูตร MS ที่เพิ่มเพียงไคตินหรือไคโตซาน และยังพบว่าการให้ไคตินและไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.0 µg/ml สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้าง H_2O_2 ได้สูงสุดคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ขนาดของโมเลกุลไคโตซานมีผลต่อการชักนำการเกิด oxidative burst โดยพบว่าไคตินที่มีโครงสร้างแบบ octamer ที่ความเข้มข้น 1.0 µg/ml สามารถชักนำให้เกิด oxidative burst ได้มากกว่าแบบ pentamer ที่ความเข้มข้นเดียวกัน (Ortmann et al., 2004)

การกระตุ้นกลไกการป้องกันตนเองของพืชโดยไคโตซานอาจเกิดผ่านทาง Octadecanoid pathway ได้ โดยจากการศึกษาในมะเขือเทศ var. Castlemart พบว่าการให้ไคโตซานที่ปริมาณ 5.0 µ g ต่อต้น สามารถกระตุ้นให้ใบสดของมะเขือเทศมีปริมาณ Proteinase Inhibitors I

สูงขึ้น ในขณะเดียวกันไคโตซานยังกระตุ้นให้เกิดการสร้าง jasmonic acid (JA) ขึ้นภายในเซลล์ในระดับที่สูงกว่าปกติถึง 2-3 เท่า ภายในเวลาเพียง 2 ชั่วโมง ซึ่งคล้ายคลึงกับการให้สาร systemin และพบอีกว่าการทำให้ใบมะเขือเทศเกิดบาดแผล หรือได้รับสารพวก oligouronides ก็สามารถชักนำให้เกิดการสร้าง JA ได้เช่นกัน (Doares et al., 1995) นอกจากนี้ไคโตซานสามารถชักนำให้เกิด systemic resistance ในต้นมะเขือเทศได้ ทั้งนี้มีรายงานการศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการเกิดโรค *Fusarium* crown และ root rot อันมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* โดยการใช้ไคโตซานที่ได้จากไคตินของเปลือกปูในการเคลือบเมล็ดและผสมร่วมกับอาหารที่ใช้ทดสอบ พบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mg/ml สามารถลดความรุนแรงของการเกิดโรคดังกล่าวได้ โดยวัดได้จากการลดลงของจำนวน root lesions และการมีระบบรากที่สมบูรณ์ดีกว่าต้นมะเขือเทศในชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้ให้ไคโตซาน สำหรับเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับการเคลือบไคโตซานเพียงอย่างเดียวแต่ไม่ได้รับไคโตซานในอาหารเพาะเลี้ยง พบว่าไคโตซานจะช่วยชะลอการเกิดโรคออกไปเท่านั้น ซึ่งจากการตรวจสอบเนื้อเยื่อของรากบริเวณที่มีการรุกรานของเชื้อรา พบว่าการใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.0 mg/ml มีประสิทธิภาพสูงในการช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยภายหลังจากการทำทดลองไปได้ 4-5 วัน พบว่ารากของมะเขือเทศในชุดการทดลองที่ไม่ได้รับไคโตซานจะมีเส้นใยของเชื้อราเจริญเติบโตกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำและอาหาร แต่ในมะเขือเทศที่ได้รับไคโตซานจะไม่พบการรุกรานของเชื้อราเข้าไปในเนื้อเยื่อรากเลย และพบว่าเซลล์ vascular parenchyma ของรากจะมีการสร้างสารในกลุ่ม phenolics compound ซึ่งอยู่ในรูปของ electron-dense droplets ขึ้นมาภายในเซลล์ และยังพบการสร้างโครงสร้าง electron-lucent layer ขึ้นมาตลอดแนวผิวชั้นในของ cell wall ซึ่งมีผลทำให้เชื้อราไม่สามารถแทงเส้นใยเข้ามาภายในเซลล์ของรากได้ แสดงให้เห็นว่า การได้รับไคโตซานสามารถกระตุ้นกลไกการป้องกันตนเองของรากมะเขือเทศ ซึ่งช่วยปกป้องไม่ให้ได้รับอันตรายจากการรุกรานของเชื้อราที่ก่อโรคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (Benhamou, Lafontaine, and Nicole, 1994)

จากการย่อยไคโตซานให้มีขนาดโมเลกุลต่าง ๆ กันด้วยเอนไซม์ แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับพืชพบว่า ไคโตซานดังกล่าวสามารถกระตุ้นให้เกิดความต้านทานเชื้อ *Sclerotinia sclerotiorum* (Libert) de Bary ซึ่งเป็นเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในแครอท (*Daucus carata* L.) ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยจากการใช้ไคโตซานจากเปลือกปู ที่มี 77 % DD ที่ความเข้มข้น 2 % (w/v) เคลือบหัวแครอทก่อนที่จะทำการปลูกเส้นใยของเชื้อราบนผิวของแครอท พบว่าเมื่อเก็บหัวแครอทไว้ที่อุณหภูมิ 22 °C เป็นเวลา 3 วัน บาดแผลที่เกิดจากเชื้อดังกล่าวบนหัวแครอทที่ได้รับไคโตซานจะมีขนาดเล็กกว่าบาดแผลบนหัวแครอทที่ได้รับการล้างด้วยน้ำเปล่าที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยไม่ได้รับไคโตซาน นอกจากนี้การใช้ Hydrolysed chitosan ที่ความเข้มข้น 0.2 % (w/v) เคลือบหัวแครอทก็สามารถลดขนาดของบาดแผลที่เกิดจากการรุกรานของเชื้อนี้ได้ถึง 50 % อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้ไคโตซานที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์สามารถลดการเกิดโรคและลดขนาดของบาดแผล

ได้ในวันที่ 1 และวันที่ 3 ส่วนการใช้ Hydrolysed chitosan จะให้ผลลักษณะเช่นเดียวกันนี้ในวันที่ 2 และ 3 และหากทิ้งหัวแครอทที่เคลือบไคโตซานไว้นานถึง 5 วัน ก่อนทำการปลูกถ่ายเชื้อ พบว่าการเคลือบไคโตซานไม่มีผลต่อการเกิดโรคและขนาดของบาดแผล (Molloy, Cheah, and Koolaard, 2004)

ไคโตซานที่อยู่ในรูปของไคโตเจล (Chitogel) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Botrytis cinerea* Pers.:Fr. ที่ทำให้เกิดโรคในพืชหลายชนิดได้ โดยจากการผสมไคโตเจลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อราสูตร PDA ที่ความเข้มข้น 5 % (v/v) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในแนวรัศมีได้มากที่สุดถึง 64 % โดยความสามารถในการยับยั้งเชื้อราดังกล่าวจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานที่ทดสอบลดลงตามลำดับ จากการวัดน้ำหนักแห้งของเชื้อราชนิดนี้หลังจากเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร King B พบว่าอาหารที่เติมไคโตซานลงไป 10 % (v/v) จะยับยั้งการเติบโตของเชื้อราได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ไคโตซานที่ความเข้มข้นอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างภายในของเส้นใยเชื้อราชนิดนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อได้รับไคโตซาน เช่นเกิด coagulation ของไซโตพลาซึม และพบการเกิด vesicle ที่มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ จำนวนมากกระจายทั่วเซลล์ และพบว่าบางเซลล์อาจไม่มีไซโตพลาซึมเลย (Barka, et al., 2004) นอกจากนี้ในรายงานการทดลองเดียวกันนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการเพาะเลี้ยงองุ่น cv. Chardonnay clone 7535 ใน chitogel สามารถลดอาการต่าง ๆ ที่เกิดจากโรค gray mould ได้ เช่นเดียวกับการพ่นไคโตซานลงบนใบองุ่น ก็สามารถช่วยให้ต้นองุ่นต้านทานต่อเชื้อชนิดนี้ได้ (Barka, et al., 2004)

ไคโตซานมีผลต่อการเจริญเติบโต สัณฐานวิทยา และลักษณะโครงสร้างภายในของเชื้อราที่ทำให้เกิดโรค root rot ในพืชหลายชนิด เช่น *Cylindrocladium floridanum* Sobers & Seymour *Cylindrocarpon destructans* (Zinss.) Scholten *Fusarium acuminatum* Ellis & Everh และ *Fusarium oxysporum* Schlecht โดยพบว่า ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 mg/ml สามารถยับยั้งการเจริญในแนวรัศมีของเชื้อราเหล่านี้ได้ถึง 40-70 % ยกเว้นในเชื้อ *F. acuminatum* Ellis & Everh สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเชื้อ *C. floridanum* Sobers & Seymour พบว่าไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 mg/mL ทำให้เส้นใยไม่สามารถเจริญต่อไปได้ เกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของไซโตพลาซึมและจะติดกับผนังของเซลล์ในเซลล์บางบริเวณของเส้นใย มีการเพิ่มจำนวนของแวคิวโอล และที่ความเข้มข้น 2.0 mg/mL จะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกหัก ลักษณะดังกล่าวนี้พบใน *C. destructans* (Zinss.) Scholten เช่นกัน โดยยังพบว่า protoplasm เริ่มหายไป และไซโตรพลาซึม มีรูปร่างผิดปกติ ซึ่งลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้ยังปรากฏในเชื้อ *F. acuminatum* Ellis & Everh และ *F. oxysporum* Schlecht แต่จะมีลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกทำลายไปมากกว่า อีกทั้งมีการสร้าง vesicle ต่าง ๆ อยู่ภายในเซลล์ด้วย (Laflamme et al., 1999)