

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง “ผลของการใช้สารโคโตซานในการผลิตผักคะน้า” ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเสนอตามหัวข้อต่าง ๆ โดยลำดับดังนี้

1. ผักคะน้า
2. สารโคตินและโคโตซาน
3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ผักคะน้า

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักคะน้า

ชื่อไทย ผักคะน้า ชื่อสามัญ Chinese Kale

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica oleracea* L วงศ์ Cruciferae

ผักคะน้าเป็นผักที่นิยมปลูกเพื่อบริโภคกันมากทั่วทุกภาคของประเทศไทยและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจอยู่ในหลายประเทศของทวีปเอเชีย ผักคะน้ามีถิ่นกำเนิดในเอเชียไมเนอร์และมีการแพร่กระจายเข้าสู่ประเทศอินเดียและสาธารณรัฐประชาชนจีน ทำให้มีการปลูกคะน้ากันมากในแถบเอเชียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ใต้หวัน สาธารณรัฐประชาชนจีน สาธารณรัฐสิงคโปร์ มาเลเซีย สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม และประเทศไทย เป็นต้น คะน้าเป็นพืชที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด ปลูกง่าย มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ต้นกล้าขนาดเล็กจนถึงโตเต็มที่อายุประมาณ 60 วัน ลักษณะทั่วไป ผักคะน้าเป็นผักอายุ 2 ปี แต่นิยมปลูกเป็นผักอายุปีเดียว อายุตั้งแต่หว่านหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 45 - 55 วัน ผักคะน้าสามารถปลูกได้ตลอดปี (อุดม โกสยสุก 2537) ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการปลูกคะน้าได้ดีที่สุด คือ ตั้งแต่เดือนตุลาคม - เมษายน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างเดือนพฤศจิกายน - มกราคม จะปลูกได้ผลผลิตดีที่สุด แต่จะเป็นช่วงที่ผักคะน้ามีราคาต่ำที่สุด เนื่องจากว่ามีผลผลิตออกมาสู่ตลาดมากพร้อม ๆ กัน ส่วนช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม - กันยายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนสามารถปลูกได้ดีเช่นกัน ชาวจีนเรียกคะน้าว่า ไก่หลันไซ่ (สุนทร เรื่องเกษม 2539: 23 - 30)

1.2 พันธุ์คะน้า

พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเป็นคะน้าดอกขาว โดยสั่งเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี ออสเตรเลีย และสาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น นำเข้ามาปลูก และปรับปรุงพันธุ์ปัจจุบันพันธุ์คะน้าที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 3 พันธุ์ด้วยกัน ได้แก่

1.2.1 พันธุ์ใบกลม เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบกว้างใหญ่ ปล้องสั้น ปลายใบมน และผิวใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ได้แก่ พันธุ์ฝางเบอร์ 1

1.2.2 พันธุ์ใบแหลม เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบแคบกว่าพันธุ์ใบกลม ปลายใบแหลม ขื่อห่าง ผิวใบเรียบ ได้แก่ พันธุ์ P.L. 20

1.2.3 พันธุ์ยอดหรือก้าน เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบเหมือนกับคะน้าใบแหลม แต่จำนวนใบต่อต้นมีน้อยกว่า ปล้องยาวกว่า ได้แก่ พันธุ์แม่โจ้ 1

ทั้งสามพันธุ์ เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ลำต้นเดี่ยวอวบ ส่วนกลางป่องใหญ่ ใบเรียบ ปลายใบแหลมตั้งชี้ขึ้น ก้านใบบาง ช่วงข้อยาว มีน้ำหนักส่วนที่เป็นลำต้น และก้านมากกว่าใบ ให้ผลผลิตสูง ปลูกได้ทุกภาคตลอดปี อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 45 – 48 วัน ลำต้นสูงเฉลี่ย 33 - 40 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนที่ใหญ่ที่สุด คือ 2 เซนติเมตร จำนวนใบเฉลี่ย 9 ใบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น 143 กรัม อายุตั้งแต่ปลูกถึงออกดอกประมาณ 50 - 55 วัน ให้ผลผลิตประมาณ 1,500 - 2,000 กิโลกรัมต่อไร่

1.3 สภาพแวดล้อม

ผักคะน้าเป็นผักที่สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินอยู่ระหว่าง 5.5 - 6.8 และมีความชื้นในดินสูงสม่ำเสมอ ต้องการแสงแดดเต็มที่ คะน้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิเฉลี่ย 20 - 25 องศาเซลเซียส การปลูกในสภาพอากาศหนาวเย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จะทำให้การเจริญเติบโตช้า ลำต้นและใบอวบใหญ่กว่าปกติ เนื้อใข้สูง เหนียว จำเป็นต้องให้น้ำมากกว่าปกติ สำหรับพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 300 - 800 เมตร สามารถปลูกได้คุณภาพดีในช่วงฤดูหนาวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ส่วนพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,000 เมตรขึ้นไปสามารถปลูกได้ตลอดปี คะน้าสามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้พอสมควร และให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจในสภาพอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส (อุดม โกสยสุก 2537)

1.4 การเพาะกล้า

แปลงเพาะกล้าควรมีขนาดกว้าง 1 เมตร ส่วนความยาวตามความเหมาะสม การเตรียมดินบนแปลงเพาะกล้าควรไถพรวนดินอย่างดี ตากดินไว้ประมาณ 5 - 7 วัน ย่อยหน้าดินให้ละเอียด แล้วใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วให้มาก คลุกเคล้าให้เข้ากับดินให้ทั่ว จากนั้นจึงหว่าน

เมล็ดให้กระจายสม่ำเสมอทั่วแปลง กลบเมล็ดด้วยดินผสมหรือปุ๋ยคอกที่สลายตัวดีแล้วให้หนาประมาณ 0.6 - 1 เซนติเมตร คลุมด้วยฟางหรือหญ้าแห้งบาง ๆ รดน้ำให้ชุ่มด้วยบัวฝอยละเอียด ต้นกล้าจะงอกภายใน 3 วัน ดูแลต้นกล้าถอนต้นอ่อนแอหรือเบียดกันแน่นทิ้งไป ควรใช้ฮอร์โมนเร่งรากเพื่อให้ต้นกล้าแข็งแรงสมบูรณ์ ดูแลป้องกันโรคแมลงที่เกิดขึ้น เมื่อกล้ามีอายุประมาณ 25 - 30 วัน จึงทำการย้ายกล้าไปปลูกในแปลงปลูกต่อไป

1.5 ระบบปลูกและระยะปลูก

เกษตรกรนิยมปลูกกะน้าแบบหว่านกระจายทั่วแปลงมากที่สุด รองลงมาเป็นการปลูกแบบเรียงเป็นแถว กรณีที่ย้ายกล้าหรือหยอดเมล็ดเป็นแถว การหว่านเมล็ดกระจายทั่วแปลงเหมาะสำหรับแปลงปลูกขนาดใหญ่เป็นการค้า เช่น แปลงขร่องแถบภาคกลางที่นิยมเตรียมดินโดยใช้แรงงานเครื่องจักรและให้น้ำแบบลากเรือพ่นรด ส่วนแบบแถวเหมาะสำหรับแปลงปลูกขนาดเล็กหรือผักสวนครัว เตรียมดินโดยใช้แรงงานคนและให้น้ำแบบใช้บัวรดน้ำหรือลากสายยางฉีดฝักบัวพ่นรด สำหรับระยะปลูกที่เหมาะสม โดยหลังจากถอนแยกจัดระยะครั้งสุดท้ายควรให้มีระยะปลูกระหว่างต้นและระหว่างแถวประมาณ 20×20 เซนติเมตร

1.6 การเตรียมดินปลูก

เนื่องจากกะน้าเป็นผักรากตื้นจึงควรขุดดินให้ลึกประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร ตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7 - 10 วัน แล้วนำปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วมาใส่ คลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสภาพทางกายภาพและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน พรวนย่อยหน้าดินให้มีขนาดเล็กโดยเฉพาะการปลูกแบบหว่านเมล็ดโดยตรงลงในแปลง เพื่อมิให้เมล็ดตกลึกลงไปดิน เพราะจะทำให้ไม่งอกหรืองอกยากมาก ถ้าดินเป็นกรด ควรใส่ปูนขาวเพื่อปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

1.7 วิธีการปลูก

วิธีการเตรียมดินโดยย่อยหน้าดินให้ละเอียดแล้ว นิยมหว่านเมล็ดลงบนแปลงปลูกโดยตรงมากกว่าการย้ายกล้า หว่านเมล็ดให้กระจายทั่วทั้งผิวนแปลง ให้เมล็ดห่างกันประมาณ 2 - 3 เซนติเมตร ใช้ดินผสมหรือปุ๋ยคอกที่สลายตัวดีแล้วหว่านกลบเมล็ดให้หนาประมาณ 0.5 - 1 เซนติเมตร เพื่อเก็บรักษาความชื้นให้เมล็ด และป้องกันเมล็ดถูกน้ำกระแทกกระจาย คลุมด้วยฟาง รดน้ำให้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ ต้นกล้าจะงอกภายใน 3 วัน หลังจากกะน้างอกแล้วประมาณ 20 วัน หรือต้นสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ให้เริ่มทำการถอนแยกครั้งแรก โดยเลือกถอนต้นที่ไม่สมบูรณ์ออกให้เหลือระยะห่างระหว่างต้นไว้ประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งต้นอ่อนของกะน้าในระยะนี้เมื่อเด็ดรากออกแล้วสามารถนำไปขายได้ และเมื่อกะน้ามีอายุได้ประมาณ 30 วัน จึงทำการถอนแยกครั้งที่ 2 โดยให้เหลือระยะห่างระหว่างต้น 20 เซนติเมตร และต้นกะน้าที่ถอนออกมาในระยะนี้เด็ดรากออกแล้วส่งขายตลาดเป็น

ยอดผักได้เช่นกัน ซึ่งผู้บริโภคนิยมรับประทานเป็นยอดผักเพราะอ่อนและอร่อย ในการถอนแยก
 ค่น้ำแต่ละครั้ง ควรทำการกำจัดวัชพืชไปในตัวด้วย สรุปแล้วการปลูกค่น้ำในแต่ละฤดูสามารถ
 เก็บผลผลิตขายได้ 3 ครั้ง คือ เมื่อถอนแยกครั้งแรก ถอนแยกครั้งที่ 2 และตอนตัดต้นขาย

1.8 การปฏิบัติดูแลรักษา

ค่น้ำเป็นพืชที่ต้องการน้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ เพราะต้นค่น้ำมีการ
 เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการปลูกค่น้ำจึงต้องปลูกในแหล่งที่มีน้ำเพียงพอตลอดฤดูปลูก หาก
 ค่น้ำขาดน้ำจะทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตและคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน
 ระยะที่เมล็ดเริ่มงอกจะขาดน้ำไม่ได้ วิธีการให้น้ำค่น้ำโดยใช้บัวฝอย หรือใช้เครื่องพ่นฝอยพ่นให้
 ทั่วและชุ่ม ให้น้ำค่น้ำวันละ 2 เวลา คือ เช้าและเย็น

1.9 การใส่ปุ๋ย

เนื่องจากค่น้ำเป็นผักกินใบและลำต้นจึงควรใส่ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูง สัดส่วน
 ของธาตุอาหารในปุ๋ยที่ใช้ คือ N:P:K เท่ากับ 2:1:1 เช่น ปุ๋ยสูตร 6-3-3 หรือ 25-7-7 ในอัตราประมาณ
 70 - 80 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณปุ๋ยคอกที่ใช้ โดยแบ่ง
 ใส่ 2 ครั้ง ๆ ละเท่า ๆ กัน คือ ใส่หลังจากถอนแยกครั้งแรกและหลังจากถอนแยกครั้งที่สอง อย่างไรก็ตาม
 หากสังเกตเห็นว่าค่น้ำที่ปลูกไม่ค่อยเจริญเติบโตเท่าที่ควรอาจจะใส่ปุ๋ยบำรุงเพิ่มเติม เช่น ปุ๋ยยูเรีย
 ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท เป็นต้น โดยให้ทางรากหรือละลายน้ำ ในอัตรา 30 - 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร
 ฉีดพ่นทางใบ (ระพี สาริก 2532 และ อุดม โกสยสุก 2537)

1.10 การเก็บเกี่ยว

ค่น้ำมีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 45 - 60 วันหลังการปลูก ซึ่งเป็นระยะที่โตเต็มที่
 ค่น้ำอายุ 45 วัน เป็นระยะที่ตลาดมีความต้องการมาก แต่ค่น้ำที่มีอายุ 50 - 60 วัน เป็นระยะที่เก็บ
 เกียวได้น้ำหนักมากกว่า การเก็บเกี่ยวให้ใช้มีดตัดให้ชิดโคนต้น การตัดจะตัดไล่เป็นหน้ากระดาน
 เมื่อตัดแล้วบางแห่งมัดด้วยเชือกกล้วยมัดละ 5 กิโลกรัม บางแห่งก็บรรจุถุงโดยไม่มัด ทั้งนี้
 แล้วแต่ความสะดวกในการขนส่งและความสะดวกของผู้ซื้อ อย่างไรก็ตาม การเก็บเกี่ยวค่น้ำให้ได้
 คุณภาพ ความสด และสะอาดนั้น ควรปฏิบัติดังนี้

- เก็บผักในเวลาเช้าดีกว่าเวลาบ่าย
- ควรใช้มีดเล็ก ๆ ตัด อย่าเก็บหรือเด็ดด้วยมือ
- อย่าปล่อยให้ผักแก่เกินไป
- ควรรีบเก็บผักที่แสดงอาการไม่ปกติเสียก่อน
- ควรรีบนำผักที่เก็บเกี่ยวแล้วเข้าร่วมในที่อากาศโปร่งและเย็น
- ควรล้างภาชนะที่ใช้บรรจุผักค่น้ำให้สะอาด

1.11 โรค

1.11.1 โรคเน่าคอดินของคะน้า

โรคเน่าคอดินของคะน้า สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Pythium* sp. หรือ *Phytophthora* sp. เป็นโรคที่เกิดขึ้นเฉพาะในแปลงต้นกล้าเท่านั้น เนื่องจากการหว่านเมล็ดแน่นทึบ อับลม และต้นเบียดกันมาก ถ้าในแปลงมีเชื้อโรคแล้วต้นกล้าจะเกิดอาการเป็นแผลซ้ำที่โคนต้นระดับดิน เนื้อเยื่อตรงแผลจะเน่าและแห้งไปอย่างรวดเร็ว ถ้าถูกแสงแดดทำให้ต้นกล้าหักพับ ต้นเหี่ยวแห้งตายในเวลารวดเร็ว บริเวณโรคจะค่อย ๆ ขยายกว้างออกไปเป็นวงกลม ภายในวงกลมที่ขยายออกไปจะไม่มีต้นกล้าอยู่เลย ส่วนกล้าที่โตแล้วจะค่อย ๆ เหี่ยวตายไป

การป้องกันและกำจัด ไม่ควรหว่านเมล็ดคะน้าให้แน่นเกินไป ใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อราละลายน้ำในอัตราความเข้มข้นน้อย ๆ รดลงไปบนผิวดินให้ทั่วสัก 1 - 2 ครั้ง ถ้าใช้สารเทอรากลอ ซึ่งเป็นสารป้องกันกำจัดเชื้อราในดินโดยตรงจะได้ผลดียิ่งขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วใช้สารไซเน็บ หรือมาเน็บละลายน้ำรดก็ได้ผลบ้างและควรทำทางระบายน้ำให้ดี อย่าให้น้ำขังและในแปลงขณะเป็นต้นกล้าหรือยกแปลงสูงเพื่อให้ระบายน้ำได้เร็ว

1.11.2 โรคราน้ำค้างของคะน้า

สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Peronospora parasitica* ลักษณะอาการใบจะเป็นจุดละเอียดสีดออยู่รวมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ใต้ใบ ตรงจุดเหล่านี้จะมีราสีขาวอมเทาอ่อนคล้ายผงแป้งขึ้นเป็นกลุ่ม ๆ กระจายทั่วไป ใบที่อยู่ด้านล่างจะมีแผลเกิดก่อนแล้วลุกลามขึ้นไปยังใบที่อยู่สูงกว่า ใบที่มีเชื้อราเป็นกลุ่มกระจายเต็มใบจะมีลักษณะเหลือง ใบจะร่วงหรือแห้ง โรคนี้ระบาดได้ตั้งแต่ระยะที่เป็นต้นกล้าจนเจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้ใบเสียหายและเจริญเติบโตช้า โรคนี้ไม่ทำให้ต้นคะน้าตาย แต่จะทำให้น้ำหนักน้อยลง เพราะต้องตัดใบที่เป็นโรคทิ้ง

การป้องกันและกำจัด ให้ฉีดพ่นด้วยสารป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น ไซเน็บ มาเน็บ เบนเลท ไดโฟลาแทน เบนโนมิล คาโคนิน แคปแทน หรือสารชนิดอื่น ๆ ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น แต่ไม่ควรใช้ในระยะที่เป็นต้นกล้า เพราะจะเป็นพิษต่อต้นกล้า

1.11.3 โรคแผลวงกลมสีน้ำตาลไหม้

สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Alternaria* sp. ใบแก่ที่อยู่ด้านล่างของลำต้นจะเป็นโรคนี้มาก ลักษณะของแผลเป็นวงกลมสีน้ำตาลซ้อนกันหลายชั้น เนื้อเยื่อรอบ ๆ แผลเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ขนาดของแผลมีทั้งใหญ่และเล็ก บนแผลมักจะมีเชื้อราบาง ๆ มองเห็นเป็นผงสีดำ

การป้องกันและกำจัด ให้ฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดเชื้อราอยู่เสมอมจะช่วยป้องกันได้ สารกำจัดเชื้อราเกือบทุกชนิดให้ผลดี ยกเว้นสารเบนโนมิล หรือเบนเลท และกำมะถันที่ไม่ให้ผลแต่อย่างใด

1.12 แมลงศัตรูผักคะน้า

1.12.1 หนอนกระทู้ผัก

หนอนกระทู้ผัก ชื่ออื่น common cutworm, tobacco cutworm, cotton worm, cotton leaf worm, fall armyworm, หนอนกระทู้ยาสูบ หนอนกระทู้ฝ้าย และหนอนรัง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Spodoptera litura* ชื่อวงศ์ Noctuidae ชื่ออันดับ Lepidoptera พืชอาหาร ผักตระกูลกะหล่ำ ฝ้าย พริก ทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วฝักยาว ข้าว ข้าวโพด ยาสูบ ส้ม สตอเบอรี่ และมันเทศ วงจรชีวิตของหนอนกระทู้ผักเหมือนผีเสื้อทั่วไป คือ มีระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ระยะไข่ ตัวเมียวางไข่เป็นกลุ่ม โดยมีขนสีน้ำตาลปกคลุมไว้ ไข่จะมีสีขาวนวลและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและสีดำเมื่อไข่ใกล้จะฟักออกเป็นตัว ระยะไข่ประมาณ 3 - 7 วัน เมื่อหนอนออกจากไข่จะมีสีเขียวอ่อนอยู่รวมกันเป็นกลุ่มตรงที่ไข่ฟัก หนอนส่วนมากจะออกหากินในเวลากลางคืน หนอนชนิดนี้สังเกตได้ง่ายมีลักษณะลำตัวอ้วนป้อม ผิวหนังเรียบ มีสีน้ำตาลต่าง ๆ กัน และมีแถบสีขาวข้างตัวไม่ชัดเจน ส่วนหัวมักสังเกตเห็นจุดสีดำใหญ่ตรงปล้องที่ 3 ถ้าหนอนใหญ่จะมองเห็นไม่ชัดเจน แม่ผีเสื้อจะวางไข่ได้ใบเป็นกลุ่มใหญ่บนบรื้อยพอง คลุมด้วยขนสีฟางข้าว หนอนเกิดใหม่จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มกัดกินผิวใบ จนบางใสหรือพurunเมื่อลอกคราบประมาณ 2 ครั้ง จะสังเกตเห็นสีดำที่คอชัดเจน ลำตัวเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเกิดลายเส้นหรือจุดสีดำ บางครั้งมีแถบสีเทา ผิวลำตัวมักมีขีดสีดำพาดตามยาวทั่วไป หนอนจะเริ่มทำลายพืชกัดกินใบ ยอดอ่อน หรือเข้าไปกัดชอกกกลีบใบ หนอนโตเต็มที่มีขนาดใหญ่ 3 - 4 เซนติเมตร ระยะตัวหนอนยาวนานถึงอาทิตย์จึงจะเข้าดักแด้ได้ ผิวดิน ดักแด้มีสีน้ำตาลดำยาวประมาณ 1.5 - 1.8 เซนติเมตร อายุดักแด้ประมาณ 7 - 12 วัน ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืน ปีกคู่หน้ามีจุดสีน้ำตาลเข้ม ส่วนปีกคู่หลังมีสีขาวบาง ลำตัวมีขนสีน้ำตาลอ่อนปกคลุม ตัวเมียสามารถวางไข่ได้ 200 - 300 ฟอง ระยะตลอดวงจรชีวิตประมาณ 1 เดือน (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ 2526)

เขตแพร่กระจาย พบแมลงศัตรูพืชชนิดนี้กระจายอยู่ทั่วไป ส่วนต่างประเทศพบในประเทศอินเดีย ศรีลังกา พม่า มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ สาธารณรัฐประชาชนจีน ไต้หวัน เกาหลี ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา

การป้องกันและกำจัด ควรควบคุมตัวหนอนที่ยังเล็ก เพราะเมื่อหนอนโตขึ้นจะหลบลงดินทำให้ยากต่อการควบคุม ควรไถแปลงก่อนการปลูกเป็นเวลา 1 เดือน

1.12.2 หนอนใยผัก

หนอนใยผัก ชื่ออื่น diamond-back moth, cabbage plutella, short-hole worm, small cabbage moth หนอนใย ตัวจรวด ชื่อวิทยาศาสตร์ *Plutella xylostella* Linnaeus ชื่อวงศ์ Ponomutidae ชื่ออันดับ Lepidoptera พืชอาหารผักตระกูลกะหล่ำทุกประเภท วงจรชีวิตของหนอนใยผัก

เหมือนผีเสื้อทั่วไป คือ มีระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ระยะไข่ตัวเมียวางไข่เป็นกลุ่ม ๆ ไข่ที่ผีเสื้อวางตามได้ใบ มีขนาดเล็กสีเหลืองอ่อนข้างกลมแบน วางติดกัน 2 - 5 ฟอง อายุไข่ประมาณไม่เกิน 3 วัน

หนอนใยผักเป็นหนอนที่มีขนาดเล็กสุดในบรรดาหนอนผีเสื้อศัตรูผักสังเกตได้โดยลักษณะหัวและท้ายแหลม มักจะพบตัวหนอนวัยขนาดเล็กเกาะอยู่ใต้ใบอาศัยแทะผิวใบพืช เพียง 1 สัปดาห์มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนหัวและท้ายแหลม ส่วนท้ายมีปุ่มยื่นออกไป 2 แฉก สีของลำตัวอาจเป็นสีเขียวอ่อน เทาอ่อน หรือเขียวปนเหลือง สามารถสร้างเส้นใยพาตัวขึ้นลงระหว่างพื้นดินกับใบพืชได้

ดักแด้ มีขนาด 1 เซนติเมตร อายุดักแด้สั้นเพียง 3 - 4 วัน ตัวเต็มวัยเมื่อออกจากดักแด้จะอาศัยตามบริเวณใต้ใบต้นผัก ตัวเต็มวัยมีอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ วางไข่ได้เป็นร้อยฟอง ลักษณะของตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อสีเทา ตรงกลางสันหลังมีแถบสีเหลืองส้มเป็นประกายเห็นได้ชัดเจนเวลาหุบปีก (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ 2526)

เขตแพร่กระจาย พบระบาดอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและทั่วโลกตามแหล่งปลูกผัก ลักษณะของการเข้าทำลาย หนอนใยผักจะกัดกินผิวด้านล่างของใบจนเหลือแต่ใยขาว รอยทำลายแตกต่างจากหนอนชนิดอื่น ๆ โดยมักจะเข้าไปกัดกินยอดผัก ทำให้ยอดผักไม่เจริญเติบโต และลิบเสีย หรือกัดกินใบที่หุ้มหัวผักพวกกะหล่ำทำให้เสียหายเกิดเป็นรูพรุน

การป้องกันและกำจัด หนอนใยผักมีปัญหาในการกำจัดมากโดยเฉพาะการใช้สารเคมี เพราะหนอนใยผักสามารถสร้างภูมิคุ้มกันต้านทานสารเคมีได้เร็วในแหล่งที่มีการใช้สารเคมี การปฏิบัติที่ดีควรตรวจดูไข่หรือหนอนในระยะเล็ก และใช้สารกำจัดแมลงประเภทเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัด มีการปลูกพืชสลับกันหลาย ๆ ชนิด จะสามารถลดการทำลายลงได้ และการใช้สารสกัดจากพืชสมุนไพร เช่น สะเดา เป็นต้น (ขวัญชัย สมบัติศิริ 2541)

1.12.3 ค้างหมัดผัก

ค้างหมัดผัก ชื่ออื่น leaf eating beetle, flea beetle ค้างหมัดผักกาด กะเจ้า ชื่อวิทยาศาสตร์ *Phyllotreta flexuosa* (Illiger) ชื่อวงศ์ Chysomelidae ชื่ออันดับ Coleoptera พืชอาหาร ผักกวางตุ้ง กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี กะน้า บร็อกโคลี่ และผักกาดขาวปลี วงจรชีวิตของค้างหมัดผัก คือ มีระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ระยะไข่ ตัวเมียชอบวางไข่เป็นฟองเดี่ยว ๆ หรือกลุ่มบริเวณโคนต้นพืช เส้นกลางใบพืช และตามพื้นดิน ไข่มีรูปร่างคล้ายไข่ไก่ขนาด 0.13×0.27 มิลลิเมตร สีขาวอมเขียว ผิวเรียบเป็นมัน และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนก่อนฟักเป็นตัว ระยะไข่ 3 - 4 วัน ตัวหนอนมีสีขาว ส่วนหัวและส่วนท้องปล้องแรกมีสีน้ำตาล มีจุดสีน้ำตาลตามลำตัวและแผ่นสีน้ำตาลอยู่ทางด้านบนของปล้องสุดท้ายของลำตัว หนอนอาศัยอยู่ในดิน ระยะหนอน 10 - 14 วัน และเข้าดักแด้ในดิน ส่วนปีกและขาของดักแด้แยกจากลำตัวเป็นอิสระเคลื่อนไหวได้ ระยะดักแด้ 4 - 5 วัน ตัวเต็มวัย

เป็นดั่งขนาดเล็ก ความยาวประมาณ 2 - 2.5 มิลลิเมตร ปีกคู่หน้าสีดำ มีแถบเหลืองสองแถบพาดตามความยาว ด้านล่างลำตัวมีสีดำ ขาคู่หลังขยายใหญ่และโตกว่าขาอื่น ๆ หนวดเป็นแบบเส้นด้าย อายุตัวเต็มวัย 30 - 60 วัน ตัวเมียวางไข่ได้ 80 - 200 ฟอง

เขตแพร่กระจาย ตัวหัดผักพบแพร่กระจายอยู่โดยทั่ว ๆ ไป และจะเกิดการกระจายวงเวียนอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งปลูกผักเก่า

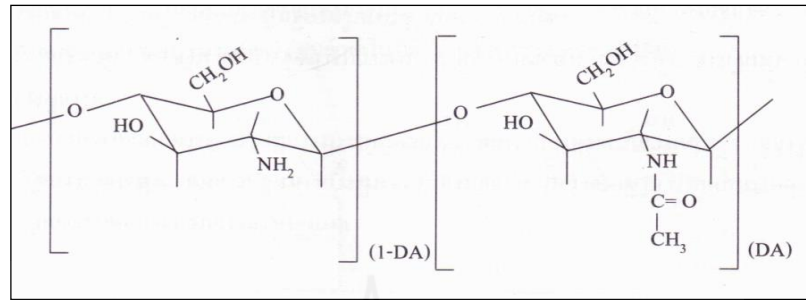
ลักษณะการเข้าทำลาย ตัวอ่อนของตัวหัดผักจะกัดกินหรือซ่อนไข่เข้าไปบริเวณโคนต้น หรือรากของผัก ทำให้พืชผักเหี่ยวเฉาและไม่เจริญเติบโต ถ้ารากถูกทำลายมาก ๆ อาจทำให้พืชผักตายได้ ตัวเต็มวัยชอบกัดกินด้านล่างของผิวใบ ทำให้ใบมีรูพรุน และอาจกัดกินลำต้นและกลีบดอกด้วย

การป้องกันและกำจัด ก่อนการปลูกควรไถตากดินไว้เป็นเวลานานพอสมควรเพื่อทำลายตัวอ่อนและดักแด้ที่อยู่ใต้ดิน นอกจากนี้ควรเปลี่ยนมาปลูกพืชที่ตัวหัดผักไม่กินเป็นการลดการระบาดได้อีกทางหนึ่ง การใช้สารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมต เช่น ไดโครโตฟอส คาร์โบซัลเฟน เป็นต้น ในบริเวณที่ไม่ค่อยได้ใช้สารเคมีมากมักจะไม่มีปัญหา แต่แหล่งที่ปลูกผักมานานตัวหัดผักมักทนต่อสารกำจัดแมลง (สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ 2526)

2. สารโคตินและโคโตซาน

2.1 ลักษณะและคุณสมบัติของสารโคตินและโคโตซาน

สารโคตินและโคโตซาน เป็นสารโคโพลิเมอร์ธรรมชาติระหว่างสองโมโนเมอร์ของ anhydro-N-acetyl-D-glucosamine และ anhydro-D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่าจะแสดงคุณสมบัติเด่นของโคติน แต่ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่าจะแสดงคุณสมบัติเด่นของโคโตซาน ซึ่งลักษณะโคโพลิเมอร์นี้จะมีผลต่อเนื่องไปยังสมบัติการละลายของโคตินและโคโตซาน โครงสร้างโคตินและโคโตซาน (ภาพที่ 2.1) จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสมประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ภายในโมเลกุลที่ตำแหน่งของคาร์บอนตัวที่สอง ทำให้มีสมบัติเฉพาะในการเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ หลายชนิด



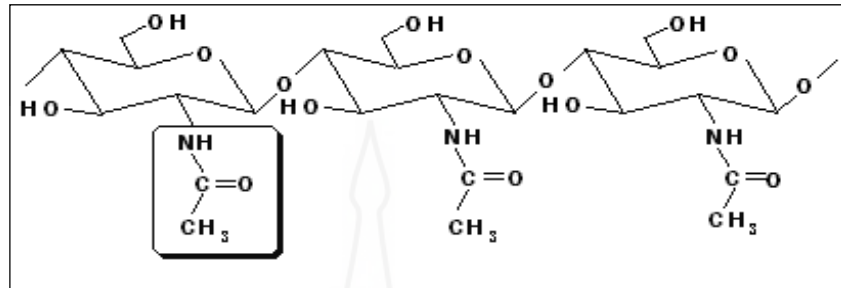
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างไคติน-ไคโตซาน

ที่มา: Domard (1996)

ไคติน เป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2354 โดย Braconnot Odier ในปี พ.ศ. 2366 เรียกสารนี้ว่าไคติน (Chitin) มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก มีความหมายว่า เกราะหุ้ม (Foster and Webber, 1960; Shahidi, Arachchi and Jeon, 1999) ไคตินเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (สุวดี จันทร์กระจำว 2544) พบในเปลือกของสัตว์ เช่น กุ้ง ปู แคนหมึก ผนังลำตัวของแมลง หอยมุก ผนังเซลล์ของพวกรา ยีสต์ และจุลินทรีย์หลายชนิด เป็นต้น แหล่งสำคัญของไคตินที่ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรม คือ เปลือกกุ้ง และกระดองปู ซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล พบว่ามีไคตินในปริมาณร้อยละ 10 - 50 (Knorr, 1984) เมื่อคิดเป็นปริมาณต่อปีของสิ่งเหลือทิ้งจากการผลิตแปรรูปกุ้งและปูจะให้ไคตินถึง 150 ล้านกิโลกรัม (Austin, 1977)

ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly- β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-d-glucose (Stelmock, Husby and Brundage, 1985) มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $(C_8H_{13}O_5N)_n$ (Austin, 1977) แสดงในภาพที่ 2.2 โครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลลูโลส แต่ต่างตรงตำแหน่งคาร์บอนที่ 2 ของวงแหวนน้ำตาลเป็นหมู่ hydroxyl (-OH) ในขณะที่ไคตินเป็น acetamido ($-NHCOCH_3$) (Carroad and Tom, 1978) ไคตินประกอบด้วย คาร์บอน 47 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 7 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 7 เปอร์เซ็นต์ และ ออกซิเจน 39 เปอร์เซ็นต์ (Budavari, 1976) ไคตินเป็นของแข็งไม่ละลายในน้ำ กรดเจือจาง ด่างเจือจาง หรือในแอลกอฮอล์เข้มข้นและตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) เข้มข้น กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก ความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันอย่างหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้น

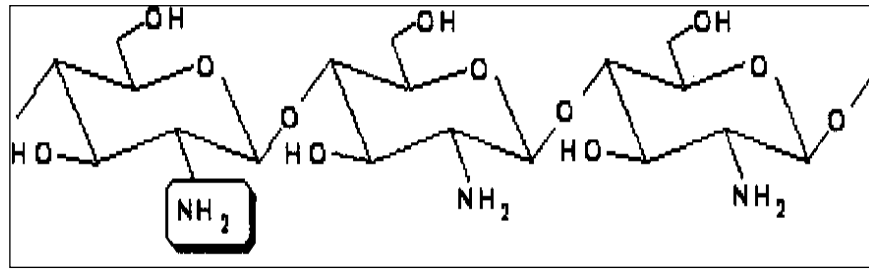
ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ hydroxyl และหมู่ acetamido) (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคติน

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2548)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ไคโตซานถูกพบครั้งแรกโดยบังเอิญในปี พ.ศ. 2402 โดย Rouget ได้ต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (NaOH) ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า poly- β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $(C_8H_{11}O_4N)_n$ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 มีลักษณะ linear polymer ไคโตซานต่างจากไคติน คือ คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวนน้ำตาลของไคโตซานเป็นหมู่ amino ($-NH_2$) ในขณะที่ไคตินเป็นหมู่ acetamido (รัศเกล้า ภูติวรนาถ 2539) ไคโตซานประกอบด้วยคาร์บอน 45 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 7 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 9 เปอร์เซ็นต์ (Muzzarelli, 1977) ปัจจุบันนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหมู่อะซิติล ทำให้โครงสร้างของไคตินบางส่วนเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันที่มีธาตุไนโตรเจน ในรูปของหมู่ acetamido เปลี่ยนไปเป็นรูปของหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซานเป็นโพลิเมอร์สายยาวที่มีประจุบวก เนื่องจากมีหมู่อะมิโนในรูป $-NH_2$ ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรพานิก และกรดแลกติก (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ 2544 และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2548)

2.2 กระบวนการผลิตไคตินและไคโตซาน

การผลิตไคตินและไคโตซานประกอบด้วยหลักการที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การกำจัดโปรตีน (deproteination) การกำจัดเกลือแร่ (demineralization) การกำจัดหรือลดหมู่อะซิติก (deacetylation) สำหรับการเตรียมไคโตซานโดยทั้งสามขั้นตอนสามารถทำได้โดยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.2.1 กระบวนการทางเคมี

อุตสาหกรรมการผลิตไคตินและไคโตซานนิยมใช้กระบวนการทางเคมี โดยใช้วัตถุดิบ เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กก่อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดโปรตีน โดยนำมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกจากวัตถุดิบไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกขจัดออกด้วย หลังจากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับกรดในกระบวนการกำจัดเกลือแร่ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ เช่น หินปูน (CaCO_3) ถูกกำจัดออกโดยเปลี่ยนเป็นเกลือแคลเซียมที่ละลายน้ำ (CaCl_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ขั้นตอนนี้โปรตีนและรงควัตถุที่ละลายในกรดจะถูกกำจัดออกไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการนี้ คือ ไคติน นอกจากกรดเกลือแล้วสารเคมีอื่น เช่น EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) สามารถนำมาใช้เพื่อกำจัดเกลือแร่และบางส่วนของโปรตีน ถึงแม้ว่า EDTA จะมีราคาค่อนข้างแพง แต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ทั้งยังช่วยลดการเสื่อมสลายของสายโซ่โพลีเมอร์ โดยทั่วไปแล้ว ถ้าสถานะที่ใช้ในการกำจัดเกลือแร่และโปรตีนไม่รุนแรง น้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตซานที่ได้ก็ยิ่งสูง แต่หากภาวะที่ใช้อ่อนเกินไปจะทำให้การกำจัดเกลือแร่และโปรตีนในวัตถุดิบไม่สมบูรณ์

การกำจัดหรือลดหมู่อะซิติล เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการลดหรือกำจัดหมู่อะซิติล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่มีอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของไคติน หมู่อะมิโนนี้สามารถรับโปรตอนจากสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก ช่วยให้การละลายดีขึ้น การลดหมู่อะซิติลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 - 6 วัน ปฏิกริยา deacetylation ภายใต้อุณหภูมิจึงเกิดแบบสุ่มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโคโพลิเมอร์แบบสุ่ม (random-type copolymer) ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ส่วนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 - 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 90 - 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 - 5 ชั่วโมง ปฏิกริยา deacetylation ภายใต้อุณหภูมิดังกล่าวมักจะเกิดในส่วนของ amorphous region ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโพลิเมอร์แบบกลุ่ม (block-type copolymer) เมื่อหมู่อะซิติลถูกกำจัดมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติล (CH_3COOH) และกรดแลคติก ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$) เป็นต้น ปฏิกริยาการลดหมู่อะซิติลที่ทำให้ได้ degree of deacetylation 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป นั้นทำได้ยากในขั้นตอนเดียว ขนาดของรงควัตถุดิบจะมีผลต่อความสามารถในการแทรกตัวเข้าทำปฏิกริยา (accessability) และมีผลต่อเนื่องถึงสมบัติของไคโตซานที่ได้ นอกจากนี้ยังต้องใช้ขั้นตอนอื่นเพิ่มเติม เช่น การล้างด้วยน้ำหรือการละลาย แล้วตกตะกอน ก่อนนำกลับมา deacetylation อีกครั้ง ส่วนการลดการเสื่อมของสายโซ่โพลิเมอร์ในปฏิกริยา deacetylation สามารถทำภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า เช่น การใช้ก๊าซไนโตรเจน และอาร์กอน การเติม oxygen scavenger เช่น thiophenol หรือการเติม reducing agent เช่น NaBH_4 เพื่อลดการเกิดปฏิกริยา end-peeling ซึ่งเป็นปฏิกริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสายโซ่โพลิเมอร์ในค่าเข้มข้น ในกรณีไคโตซานที่ได้มีรงควัตถุเหลืออยู่จะต้องผ่านการฟอกสี (decoloration) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือโซเดียมเปอร์คลอเรต (NaOCl) สารฟอกสีเหล่านี้ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง (น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง)

2.2.2 กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

การผลิตไคตินและไคโตซานโดยกระบวนการทางเคมีสิ้นเปลืองพลังงานมากก่อให้เกิดสารละลายต่างเข้มข้นจำนวนมากที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและยากมากที่จะเอาสารสีแดงพวกแอสตาแซนทิน (astaxanthin) โปรตีนและสารอนินทรีย์อื่น ๆ ออก การผลิตโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพสามารถแบ่งเป็นสองขั้นตอน ในขั้นแรกเป็นการกำจัดโปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนต โดยเปลือกกุ้งและกระดองปูจะถูกหมักกับแบคทีเรียที่มีเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ทำหน้าที่ย่อยโปรตีน และทำให้เกิดกรดแลคติก ซึ่งเป็นผลพลอยได้ใน การสลายแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นการลดหรือกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินในปฏิกริยา deacetylation โดยใช้เอนไซม์ chitin-n-deacetylase (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.3 การเสื่อมสลายของไคโตซาน

ไคโตซานเมื่อเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็น โอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) คือ chitooligosaccharide และ โมโนเมอร์ (monomer) หรือ โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) คือ D - Glucosamine ตามลำดับ กระบวนการทำให้เกิดการตัดสายโซ่ โพลีเมอร์ของไคโตซานมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.3.1 การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis) การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่าง ๆ และโพลีเมอร์ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของโพลีเมอร์ เป็นต้น โดยไคตินจะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

2.3.2 การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation) การเสื่อมสลายของโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล ทำให้โมเลกุลที่ได้สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า peeling reaction

2.3.3 การเสื่อมสลายโดยคลื่นเสียง (Degradation by sonication) การเสื่อมสลายโดยคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรดมีผลให้ได้โอลิโกเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมสลายโดยใช้กรดเพียงอย่างเดียว

2.3.4 การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ (Enzymic degradation) เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายไคโตซาน ได้แก่ เอนไซม์ chitinase สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแบบสุ่มตรงตำแหน่งพันธะ (-1,4-linkage) ได้เป็น N-acetyl-chitooligosaccharide) เอนไซม์ chitosanase สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแบบสุ่มตรงตำแหน่งพันธะ (-1,4-linkage) ได้เป็น chitooligosaccharide) เอนไซม์ lysozyme เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับเอนไซม์ chitinase

2.3.5 การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation) ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน ความร้อนจากเตาซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานมีความยืดหยุ่นมากขึ้นความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส และลดลงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.4 คุณสมบัติของไคโตซาน

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำค้าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีความเป็นกรด - ด่าง น้อยกว่า 6 กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก เป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก

กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน ที่อุณหภูมิสูงปานกลาง บางครั้งอาจจะมีตะกอนขาวเกิดขึ้น ไคโตซานมีความเหนียวและใส ในสารละลายหมู่อะมิโนของไคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของโพลิเมอร์ โดย pK_a ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 - 6.8 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.5 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

Degree of deacetylation (จำนวนของอนุพันธ์ของน้ำตาลทั้งสองชนิดในโพลิเมอร์ที่วัดได้ หรือเปอร์เซ็นต์ DD) เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินและไคโตซาน เนื่องจากเป็นโพลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamin และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์แรงกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation ต่ำจะแสดงสมบัติของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation สูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคตินในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6 ในขณะที่ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 สำหรับการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในด้านการเกษตร เช่น การใช้ไคโตซานเร่งการงอก และการเจริญเติบโตของพืชใช้เพื่อต้านทานเชื้อรา และแบคทีเรียบางชนิด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.6 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ความเป็นกรด - ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่างของสารละลายโพลิเมอร์ จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดเกลือจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด - ด่างของสารละลายเพิ่มขึ้น (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548)

2.7 การเหนียวทำให้เกิดการเสื่อมสลายของไคโตซาน

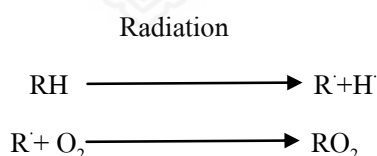
ไคโตซานเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นตรงที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การเสื่อมสลายของไคโตซานทำให้น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง รวมทั้งเป็นการเตรียมโอลิโกไคโตซาน (oligochitosan) ซึ่งเป็นไคโตซานที่มีน้ำหนักต่ำ (Dzung and Thang, 2002) การเสื่อมสลายของไคโตซานทำได้ทั้งวิธีทางเคมี โดยใช้ oxidative agent หรือวิธีทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์แต่ทั้งสองวิธีมีข้อเสียคือ วิธีทางเคมีผลิตที่ได้ต่ำ และมีการปนเปื้อนของสารเคมี ส่วนวิธีทางชีวภาพเป็นวิธีที่ช้า ได้ผลผลิตต่ำ การใช้รังสีในการเหนียวทำให้เกิดการเสื่อมสลาย (radiation degradation) จึงเป็นทางเลือก

หนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการเตรียมไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เนื่องจากการใช้รังสีเป็นวิธีที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน สะดวกรวดเร็ว ให้ผลที่มีประสิทธิภาพ ไม่ปนเปื้อนในสารตัวอย่างไคโตซาน รวมทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสถานะแวดล้อม (วรรณวิมล ปาสาณพันธ์ 2546)

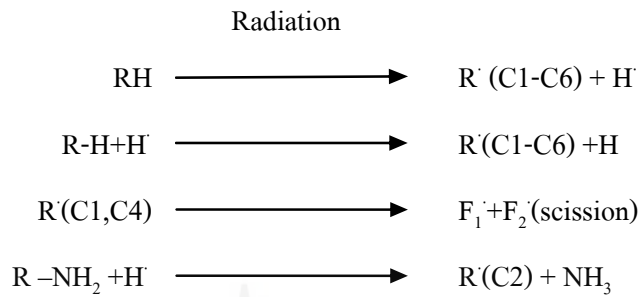
ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของโพลิเมอร์มีหลายแบบ ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบโคบอลต์ -60 (Co-60) ซึ่งได้ผลจากการกระตุ้นโคบอลต์ -59 (Co-59) ด้วยนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ โคบอลต์ -60 สลายตัวให้รังสีแกมมา 2 พลังงาน คือ 1.33 และ 1.17 MeV ซีเซียม -137 (Cs-137) ซึ่งได้ผลจากปฏิกิริยาฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์ซีเซียม -137 สลายตัวให้พลังงานรังสีแกมมา 0.662 MeV ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ electron Bean จาก electron Accelerator สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลต์เป็นต้นกำเนิดที่นิยมใช้สำหรับงานทางด้านปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ เนื่องจากมีพลังงานและอำนาจในการทะลุทะลวงสูง (Singh and Silverman, 1992)

2.8 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซานด้วยการฉายรังสี

เมื่อฉายรังสีโพลิเมอร์หรือไคโตซานในสถานะของแข็ง จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) และเกิดสถานะกระตุ้น (excitation) ของโมเลกุลโพลิเมอร์ เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่ำกว่า 10^{-2} วินาที ทั้งไอออนและผลผลิตที่เกิดจากสถานะกระตุ้น จะทำให้เกิดการตัดขาดของสายโซ่ (scission) ของพันธะเคมีภายในระยะเวลาสั้นๆ คือ 10^{-6} วินาที ได้อะตอมของไฮโดรเจน และ อนุมูลอิสระที่คาร์บอนตำแหน่งกลาง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ธรรมชาติของโพลิเมอร์ สถานะแวดล้อม ลดภาวะของการฉายรังสี เช่น อัตราปริมาณรังสี โดยปกติการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำโดยรังสี คือการเกิดโครงร่างแหสามมิติ (crosslinking) และการตัดของสายโซ่หลัก (main chain scission) หรือ degradation ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโพลิเมอร์ (Sabharwal, 2001) การฉายรังสี ทำให้เกิดการตัดของสายโซ่แบบสุ่ม น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะลดลง โครงสร้างของโพลิเมอร์จะเกิด crosslinking สำหรับอนุมูลที่มีชีวิตยาวจะเกิดขึ้นในบริเวณ crystalline สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นเปอร์ออกไซด์ได้อย่างช้า ๆ เนื่องจากการรวมตัวของออกซิเจนกับอนุมูลอิสระของโพลิเมอร์ ดังปฏิกิริยา



การเสื่อมสลายของโพลิเมอร์จะเกิดขึ้นในบริเวณที่มี crystalline สูง และฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสีต่ำ ในสถานะที่มีออกซิเจน (Sabharwal, 2001) กลไกการเสื่อมสลายของไคโตซานที่ฉายรังสีในสถานะของแข็ง สามารถแสดงได้ดังนี้ (Ulanski and Rosiak, 1992)

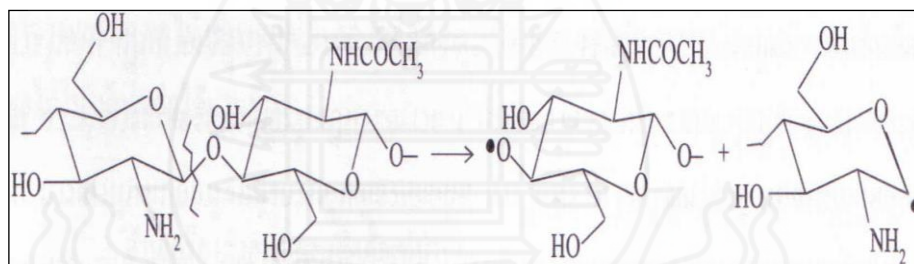


R-H และ R-NH₂ คือ chitosan macromolecule

R[·](Cn) คือ chitosan macroradical ที่ตำแหน่งอะตอมคาร์บอน Cn

F₁[·], F₂[·] คือ fragments ของสายโซ่หลักหลังจากเกิด scission

จากกลไกดังกล่าวมีเพียงส่วนของ macroradical (อยู่ที่ตำแหน่ง C1 และ C4) จะเปลี่ยนรูปและนำไปสู่การเกิดสายโซ่ที่ตำแหน่ง 1 - 4 glycosidic bond ถือว่าเป็นการตัดของสายโซ่ที่สมดุลสำหรับปฏิกิริยาของ macroradical อื่น ๆ เช่น การหลุดออกของ amino group จะไม่นำไปสู่การตัดของสายโซ่ (Ulanski and Rosiak, 1992)



ภาพที่ 2.4 กลไกการเกิดการตัดขาดของสายโซ่หลักของไคตินและไคโตซาน

ที่มา: Ulanski and Rosiak (1992)

นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงสีของไคโตซาน เนื่องจากเกิดพันธะคู่ขึ้นจากการฉายรังสี (Sabharwal, 2001) ปกติไคโตซานมีสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มจนถึงสีส้มหรือน้ำตาล (Tokura and Tamura, 1999; Sabharwal, 2001) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ฉายและสถานะที่ฉายรังสี การฉายรังสีทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างบริเวณผิวของไคโตซาน (Yoksan, Biramontri and Chirachanchai, 2002)

2.9 การประยุกต์ใช้สารไคโตซาน

ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและวิจัย นำไคตินและไคโตซานไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ (สถิตย์ พูลทรัพย์ 2544 และ สุวลี จันทรกระจ่าง 2544)

2.9.1 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ไคตินและไคโตซานมีบทบาทในอาหารเสริมที่ช่วยลดไขมันและคอเลสเตอรอล ใช้เป็นผิวหนังเทียม รักษาแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก รักษาเหงือกและฟัน เสริมสร้างสุขภาพของกระดูกอ่อน เป็นสารหล่อลื่นในเยื่อเมือก ตลอดจนเลนส์ตา

2.9.2 ด้านอาหาร ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคตินและไคโตซาน เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารและยา ประเทศญี่ปุ่นมีผลิตภัณฑ์อาหารที่ผสมไคโตซานเป็นจำนวนมากออกวางขายในท้องตลาด ใช้เป็นสารกันบูด สารปรุงแต่งเพื่อความคงรูปในอาหารต่าง ๆ สารเคลือบอาหารผักและผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล ลูกแพร์ มังคุด พริกหยวก และส้ม เป็นต้น ช่วยยืดเวลาในการเก็บผักและผลไม้ไม่ให้เน่าเสียได้นานขึ้น

2.9.3 ด้านเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุง ไคตินและไคโตซานมีสมบัติเด่นในการอุ้มน้ำ และกลายเป็นตาข่ายคลุมผิวหนัง ตลอดจนต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ เป็นสารแต่งเติมและสารพื้นฐานของเครื่องสำอางหลายประเภท เช่น ผสมแป้งทาหน้า เพื่อความชุ่มชื้น และป้องกันเชื้อโรค เป็นส่วนประกอบของแชมพู ครีมนวด และสบู่ ผสมในโลชั่นสำหรับเคลือบเพื่อป้องกันรังสียูวี ตลอดจนบำรุงผิวและเส้นผม

2.9.4 ด้านอุตสาหกรรมและสิ่งทอ ใช้ผสมในเส้นใยเพื่อพัฒนาเสื้อผ้าและสิ่งทอสามารถป้องกันและต้านทานเชื้อโรคได้ เสริมสร้างความเหนียวแข็งแรงให้แก่เส้นใย และเยื่อกระดาษ เพื่อเพิ่มคุณภาพให้แก่กระดาษ

2.9.5 ด้านการเกษตร ไคตินและไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จึงมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ สารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และสามารถนำไปใช้ทางด้านอื่น ๆ ทางทางการเกษตรได้แก่

- 1) นำไปใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์ (seed treatment) ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืช ทำให้อัตราการงอกเพิ่มขึ้นและผลผลิตที่ได้สูงขึ้น
- 2) สารกำจัดแมลง (insecticide) อนุพันธ์ไคตินและไคโตซานนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเอนไซม์ chitinase จะย่อยสลายไคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกหุ้มตัวของแมลงศัตรูพืช
- 3) ปรับสภาพของดิน (soil improvement) ปรับสภาพของดินที่มีส่วนของดินเหนียว (clay) โดยเพิ่มความพรุนในดิน การดูดซับน้ำ การอุ้มน้ำ และการชะล้าง (erosion) ของดิน

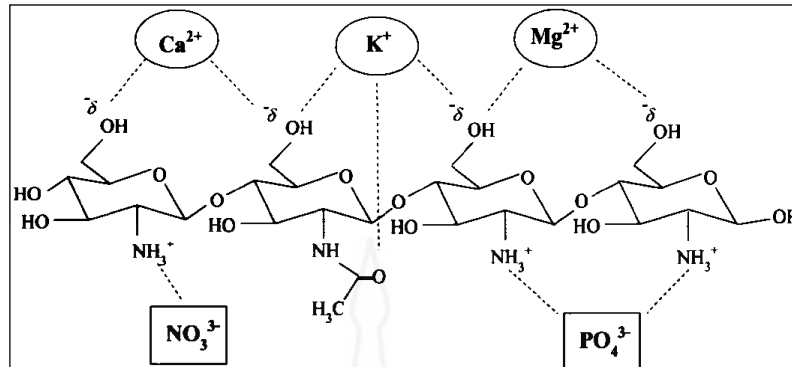
รวมทั้งเป็นตัวพา (carrier) สำหรับพวก micro-organic โดยปลดปล่อยสารดังกล่าวอย่างช้า ๆ จะช่วยลดปัญหาการใช้สารเกินความจำเป็น ซึ่งมีผลต่อพืชและสภาพดิน

4) การต้านทานและกำจัดเชื้อราบางโรค เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา เชื้อราไฟทอปเธอรา เชื้อราฟิเทียม โรคแอนแทรคโนส โรคเมลานอส โรครากเน่า โรคโคนเน่า โรคราน้ำค้าง โรคราขาว โรคใบดิด โรคใบจุด โรคใบสีส้มในข้าว และโรคอื่น ๆ เป็นต้น ไคโตซานสามารถเข้าสู่เซลล์เชื้อรายับยั้งการสร้างและสะสมของ RNA ในเชื้อรา จึงทำให้เชื้อรากลับยับยั้งการเจริญเติบโต แต่สำหรับเชื้อราและแบคทีเรียบางประเภทจะมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเมื่อใช้อนุพันธ์ไคตินและไคโตซาน เช่น ใช้ในการเพาะเห็ด เป็นต้น

2.10 การใช้ไคโตซานเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาไคโตซานในพืชมีมานานกว่า 30 ปีแล้ว ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาไคโตซานในด้านอื่น ๆ มากกว่าเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ข้อมูลการศึกษาไคโตซานกับการตอบสนองต่อพืชในด้านการเจริญเติบโตของพืชยังมีไม่มากนัก แนวทางในการใช้ไคโตซานเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช คือ ไคโตซานมีผลเกี่ยวกับยีนพืชและเชื้อราที่ก่อให้เกิดอันตรายกับพืช โดยเชื้อราที่ทำอันตรายต่อพืชจะถูกยับยั้งเนื่องจากพืชสร้างสารป้องกันตัวเองเรียกโมเลกุลที่สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรคพืชว่า elicitor (Taiz and Zeiger, 2002) มีกลไก คือ เมื่อพืชได้รับการฉีดพ่นด้วยไคโตซานที่มีขนาดพอเหมาะสามารถซึมผ่านเข้าสู่เซลล์ ก่อให้เกิดอิทธิพลต่อการกระตุ้น DNA ของพืช มีการกระตุ้นการสร้าง mRNA จากยีนที่ถูกกระตุ้นนี้ ทำให้มีการผลิตโปรตีนซึ่งไปเพิ่มกิจกรรมของ phenylpropanoid pathway มีการผลิตสารพวก phytoalexins เพิ่มขึ้น เพิ่มการสังเคราะห์ endo- β -Glucanase และ endochitinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราที่เป็นโรคพืชได้ พืชจะมีความสามารถในการป้องกันตนเองได้ขึ้นหนึ่งด้วยการสร้าง resistance response ซึ่งเป็น elicitor ของพืช (สุวลิ จันทรกระจ่าง 2546)

คุณสมบัติอีกประการ คือ ความสามารถของไคโตซานในการจับกับไอออนต่าง ๆ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสเฟต และไนเตรต เป็นต้น ที่เป็นประโยชน์กับพืช แล้วค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้แก่พืช เพราะไคโตซานเป็นไบโอโพลิเมอร์ที่มีประจุซึ่งปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมีผลร่วมกันในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช (รัฐ พิชญาบุตร 2543)



ภาพที่ 2.5 ไอออนต่างๆ ที่มีแนวโน้มว่าจะสามารถจับไคโตซาน

ที่มา: รัฐ พิชญางกูร (2543)

สารไคตินและไคโตซาน มีแหล่งกำเนิดในสิ่งที่มีชีวิตหลากหลาย โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่สิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลัง เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพวกจุลินทรีย์ รา และเห็ด นอกจากนี้ยังเป็นโครงสร้างในเปลือกของสัตว์มีข้อและปล้อง ได้แก่ กุ้ง ปู ปลาหมึก และสัตว์อื่น ๆ ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง องค์ประกอบของสารไคตินและไคโตซาน มีลักษณะคล้ายเซลลูโลส คือ เป็นโพลิเมอร์ หรือสายโซ่ยาวที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ เอ็น-อะซิทิล ดีกลูโคซามีน (N-acetyl D-glucosamine) สำหรับไคตินและดีกลูโคซามีน (D-glucosamine) สำหรับไคโตซาน (สุวลิ จันทรกระจ่าง 2544) สารไคตินและไคโตซาน ที่ถูกนำมาใช้ในการเกษตรแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโพลิเมอร์หรือสายโซ่ยาว และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโอลิโกเมอร์หรือสายโซ่สั้น การใช้สารไคตินและไคโตซาน ในทางการเกษตรโดยเฉพาะการกระตุ้นให้พืชตอบสนองและสร้างสารป้องกันตัวเองขึ้นมา โดยทำหน้าที่เป็นตัวอิทธิพล สารไคตินและไคโตซานที่ถูกนำไปใช้ในทางการเกษตรมีหลายรูปแบบ เช่น การเคลือบ การฉีดพ่นบนพืชเพื่อการดูดซึม ผลการแสดงผลออกถึงประสิทธิภาพของสารไคติน-ไคโตซานที่นำไปใช้ในด้านเกษตร ได้แก่

1) การเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่ดีในดิน กล่าวคือ เพิ่มปริมาณแอคติโนมัยซิส (Actinomycetes) ซึ่งช่วยให้ดินมีสภาพที่ดีขึ้น และขณะเดียวกันก็ลดปริมาณฟูซาริอัม (Fusarium) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเน่าในพืชผักต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้สารไคตินและไคโตซานยังช่วยเพิ่มปริมาณปมถั่วที่ทำให้เกิดการตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้น

2) เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงในการต่อต้านโรคของพืช และยังใช้เคลือบเมล็ดพืชช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา และกระตุ้นการสร้างสารภูมิคุ้มกันแก่เมล็ดพืช (สุวดี จันทรกระจ่าง 2544)

3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ด้านการเจริญเติบโตของพืช

อรจนา ค้วงแพง อนันต์ เพชรเกลื่อน และนิเทศ บุตรดี (2553) ศึกษาผลของการฉีดพ่นไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของพริก 6 สายพันธุ์ พบว่า การพ่นสารละลายไคโตซานมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพริกที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกเพิ่มขึ้น โดยกรรมวิธีการพ่นสารละลายไคโตซาน 200, 400 หรือ 600 ppm ทำให้ความสูงของต้น ความกว้างของพุ่ม ขนาดของลำต้น ความยาวและความกว้างของใบสูงกว่าการพ่นน้ำสะอาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กุลนาถ อบสุวรรณ และอภิรดี อุทัยรัตนกิจ (2550) ศึกษาการใช้สารไคโตซานในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นเทียนฝรั่ง พบว่า การให้ไคโตซานร่วมกับปุ๋ยชักนำให้ต้นเทียนฝรั่งมีขนาดต้น น้ำหนักสด และมีจำนวนดอกตูมมากกว่าต้นเทียนฝรั่งที่ให้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียวและต้นที่ไม่ได้รับทั้งปุ๋ยและไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความสูงของต้น จำนวนใบ ความกว้าง และความยาวของใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างต้นที่ได้รับปุ๋ยอย่างเดียว และต้นที่ได้รับไคโตซานร่วมกับปุ๋ย อย่างไรก็ตามการให้ปุ๋ย หรือการให้ปุ๋ยร่วมกับไคโตซานมีผลทำให้ต้นเทียนฝรั่งเจริญเติบโตดีกว่าต้นที่ปลูกในดินผสมเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

วัชร ทมะละ (2550) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของช่อดอกปทุมมาพันธุ์ลัดดาวัลย์ พบว่า ต้นปทุมมาที่พ่นด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 20 ppm มีแนวโน้มดัชนีการเจริญเติบโตดีที่สุดและสามารถเก็บเกี่ยวช่อดอกได้เร็วกว่าสารละลายไคโตซานความเข้มข้นอื่น ๆ

พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล และคนอื่นๆ (2549) ศึกษาผลของขนาดพอลิเมอร์และความเข้มข้นของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตต่อผลผลิต และการรักษาหลังการเก็บเกี่ยวของกระเจียนเขียว *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. การติดเชื้อไวรัสเส้นใบเหลืองและการกีดกันของหนอนกระพุ่มหอม รายงานผลการวิจัย โดยศึกษาผลของไคโตซานชนิด 80 เปอร์เซ็นต์ DD สายยาว (P80) และสายสั้น (O80) และไคโตซานไม่ทราบโครงสร้างที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (UCC) นำไปแช่เมล็ดพืชก่อนปลูก และพ่นทางใบทุก ๆ 3 สัปดาห์ ที่ความเข้มข้น 25, 50 และ 100 ppm แก่กระเจียนเขียวพันธุ์อินเดีย 9701 และพันธุ์ญี่ปุ่น Yamato Green โดยมีระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ เพื่อศึกษาผลของ

ขนาดโพลิเมอร์ และความเข้มข้นของไคโตซานที่มีต่อการเติบโตและผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียว การติดเชื้อไวรัสเส้นใบเหลือง (okra yellow vein mosaic virus) และการกักกินของหนอนกระทู้หอม จากการแช่เมล็ดในสารละลายไคโตซาน พบว่า ไคโตซานทุกชนิดทุกความเข้มข้น มีแนวโน้มที่จะทำให้ต้นกล้ากระเจี๊ยบเขียวพันธุ์ญี่ปุ่น Yamato Green สูงกว่าทริตเมนต์ควบคุมที่ไม่ได้รับไคโตซาน และเมื่อพ่นไคโตซานทางใบ พบว่า กระเจี๊ยบเขียวพันธุ์อินเดีย 9701 ที่ได้รับ O80 ที่ 25 ppm และ UCC ที่ 100 ppm มีแนวโน้มที่จะมีความสูง จำนวนใบ ดอก และผล เฉลี่ยต่อต้นสูงกว่าทริตเมนต์ควบคุม ผลที่คล้ายคลึงกันสามารถพบได้ในกระเจี๊ยบเขียวพันธุ์ญี่ปุ่น Yamato Green ที่พ่นด้วย O80 ที่ 25 ppm และ P80 ที่ 100 ppm ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของกระเจี๊ยบเขียวพันธุ์อินเดีย 9701 อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่การพ่นไคโตซานเกือบทุกชนิดยกเว้น O80 ที่ 100 ppm ส่งผลให้กระเจี๊ยบเขียวพันธุ์นี้มีปริมาณน้ำภายในต้นต่อน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน

พรพิมล ลีคำ (2549) ศึกษาประสิทธิภาพของสารโคติน-สารไคโตซานในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชบางชนิด และการผลิตสารโคติน-ไคโตซานจากเชื้อราในกลุ่ม *Zygomycetes* พบว่า เมล็ดมะเขือเทศ แดงกวาง และข้าวโพดที่แช่สารละลายโคติน-ไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0, 100, 1,000 และ 10,000 มิลลิลิตรต่อลิตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า สารโคติน-ไคโตซานทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก แต่เมื่อพืชอายุเกิน 7 วัน จะมีผลต่อความสูง และน้ำหนักแห้งของพืช

รณวิช สิงหสุรศักดิ์ และคนอื่นๆ (2549) ศึกษาโดยทดลองย้ายปลูกต้นอ่อนกล้วยไม้ *Dendrobium* ‘เอียสกุล’ ที่ได้จากการเพาะเนื้อเยื่อ จำนวน 620 ต้น พบว่า นอกจากไคโตซานจะมีผลช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นอ่อนกล้วยไม้แล้ว ยังมีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นอ่อนกล้วยไม้ด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุล เปอร์เซ็นต์ degree of deacetylation และความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ จากการทดลองใช้ไคโตซานโพลิเมอร์ และโอลิโกเมอร์ที่มีเปอร์เซ็นต์ DD เป็น 70, 80, และ 90 และความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 5 ระดับ คือ 10, 20, 40, 80, และ 160 ppm รวม 30 ชุดการทดลอง เปรียบเทียบกับการทดลองชุดที่ไม่ได้ใช้ไคโตซาน โดยการแช่ต้นอ่อนกล้วยไม้ที่นำออกจากขวดในสารละลายไคโตซาน และพ่นไคโตซานทางใบให้ต้นอ่อนที่ย้ายปลูกสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ตลอดการทดลอง เพื่อติดตามการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนเป็นเวลา 60 วัน พบว่า ไคโตซานโพลิเมอร์ส่วนใหญ่มีผลช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นอ่อนกล้วยไม้ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโอลิโกเมอร์ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ DD ใช้ได้ผลดี ในด้านการเจริญเติบโตของต้นอ่อนหลังย้ายปลูก ไคโตซานไม่มีผลต่อจำนวนหน่อต่อกระถาง แต่มีผลต่อจำนวนใบต่อกระถาง และการเติบโตของยอด ความยาววัดจากโคนจนถึงปลายใบที่ยาวที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโพลิเมอร์ (70 เปอร์เซ็นต์ DD) ความเข้มข้น 20 ppm ให้ประสิทธิผลสูงที่สุดสำหรับการย้ายปลูกกล้วยไม้หวายพันธุ์เอียสกุล

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์ และคนอื่นๆ (2549) ศึกษาผลของไคโตซานที่ไม่ฉายรังสีและฉายรังสี 75 และ 100 kGy ความเข้มข้น 0, 50, 100, 150 และ 200 ppm โดยมีชุดการทดลองที่ไม่ใส่ไคโตซาน (น้ำกลั่น) เป็นชุดควบคุม ใช้ข้าวฟ่าง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ DA5, KU439, KU804, KU900 และ Late Hagari พบว่า การใช้ไคโตซานที่ไม่ฉายรังสีและฉายรังสีความเข้มข้นต่างกัน ไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 5 สายพันธุ์มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวฟ่างทั้ง 5 สายพันธุ์ ที่ใช้ไคโตซานต่างชนิดกันมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวฟ่างสายพันธุ์ DA5 มีค่าสูงกว่าข้าวฟ่างพันธุ์อื่น ๆ การใช้ไคโตซานที่ฉายรังสีระดับ 100 kGy ความเข้มข้น 100 - 150 ppm ต้นกล้าข้าวฟ่างสายพันธุ์ DA5 มีความยาวยอด (6.10 - 6.20 เซนติเมตร) ราก (9.70 เซนติเมตร) และความยาวรวมของต้นกล้า (15.50 - 15.80 เซนติเมตร) สูงกว่าการใช้ไคโตซานระดับอื่น ๆ ขณะที่ความเข้มข้น 50 ppm ในข้าวฟ่างสายพันธุ์ Late Hagari การเจริญเติบโตของต้นกล้ามีค่าสูงสุด (15.20 เซนติเมตร) แต่เมื่อใช้ไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี ความเข้มข้น 150 ppm ในข้าวฟ่างสายพันธุ์ KU439 และ KU900 หรือความเข้มข้น 200 ppm ในข้าวฟ่างสายพันธุ์ KU804 ทำให้ความยาวของราก และความยาวรวมของต้นกล้าข้าวฟ่างมีค่าสูงสุด

นพรัตน์ วงศ์อนุรักษ์ชัย (2548) ศึกษาผลของการตัดโพลิเมอร์ของไคโตซานด้วยรังสีแกมมาต่อการลดขนาดมวลโมเลกุลของไคโตซาน และความเข้มข้นไคโตซานต่อการเร่งการเจริญเติบโตของข้าว และการแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสในสภาพไฮดรอนในดินกับสารละลาย ที่ระดับรังสีปริมาณ 0 - 200 kGy พบว่า การฉายรังสีแกมมาในช่วง 0 - 100 kGy ที่ความเข้มข้นต่ำ 50 - 100 ppm มีแนวโน้มในการเร่งการเจริญเติบโตของข้าวที่อายุ 14 วัน ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์ กิติ บุญเลิศนิรันดร์ และอริสรา สุขสถาน (2548) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยวางแผนการทดลองแบบ split plot design in RCB ทำ 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ วิธีการใช้ 2 แบบ คือ แช่เมล็ด และแช่เมล็ด + ฉีดพ่น ปัจจัยรอง คือ ขนาดโมเลกุลไคโตซาน 3 ชนิด คือ โพลิเมอร์ (เปอร์เซ็นต์ DD 96.62) โอลิโกเมอร์ (เปอร์เซ็นต์ DD 95.01) และ โมโนเมอร์ (เปอร์เซ็นต์ DD 99.74) ความเข้มข้น 20 ppm และสิ่งทดลองควบคุม คือ การใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองพบว่า การใช้ไคโตซานชนิดโพลิเมอร์ แช่เมล็ดข้าวก่อนปลูก จากนั้นฉีดพ่นอีก 4 ครั้ง ทำให้ข้าวมีการสะสมน้ำหนักแห้งช่วงหลัง และจำนวนหน่อต่อต้นแตกต่างกับสิ่งทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในด้านความสูง การสะสมน้ำหนักแห้งช่วงแรก น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อรวงและผลผลิต แต่มีแนวโน้มว่า การใช้ไคโตซานชนิดโพลิเมอร์ แช่เมล็ดก่อนปลูก จากนั้นฉีดพ่นจะให้ผลผลิตสูงสุด คือ 171.25 กรัมต่อสิ่งทดลอง ในขณะที่การไม่ใช้ไคโตซานให้ผลผลิตเพียง 111.72 กรัมต่อสิ่งทดลอง

พัชรา ลิ้มปะนะเวช และคนอื่นๆ (2547) ศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตทางต้นและใบของกล้วยไม้ *Dendrobium* ‘เอียสกุล’ โดยใช้ไคโตซาน 6 ชนิด ได้แก่ ไคโตซานชนิดโพลิเมอร์ (70 เปอร์เซ็นต์ DD) และไม่ผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ไคตินเนส ไคโตซานชนิดโอลิโกเมอร์ (70 เปอร์เซ็นต์ DD) และผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ไคตินเนส ไคโตซานชนิดโพลิเมอร์ (80 เปอร์เซ็นต์ DD) และไม่ผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ไคตินเนส ไคโตซานโอลิโกเมอร์ (80 เปอร์เซ็นต์ DD) และผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ไคตินเนส ไคโตซานชนิดโพลิเมอร์ (90 เปอร์เซ็นต์ DD) และไม่ผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ไคตินเนส ไคโตซานชนิดโอลิโกเมอร์ (90 เปอร์เซ็นต์ DD) และผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ไคตินเนส พบว่า ไคโตซานชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลำลูกกล้วยไม้และใบของกล้วยไม้หวาย *Dendrobium* ‘เอียสกุล’ เมื่อวัดผลการเจริญเติบโตภายหลังการให้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 1, 10, 50 และ 100 ppm โดยการผสมและฉีดพ่นพร้อมกับปุ๋ยทุกสัปดาห์เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แต่อย่างไรก็ดีพบว่า ไคโตซานสามารถชักนำให้เกิดดอกได้เร็วขึ้น

ชนัสพร เกลียงแก้ว สุวดี จันทร์กระจำ และพัลภา เสวตศิลา (2546) ศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่ออัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของกล้วยไม้สกุลรองเท้านารีลูกผสม *Paphiopedilum bellatulum*×PHPA. Angthong โดยใช้สารไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 10, 20 และ 40 ppm สามารถกระตุ้นให้กล้วยไม้งอกรากเกิดใบใหม่ และกระตุ้นการเจริญเติบโตทางด้านความกว้างและความยาวของใบเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การใช้สารไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm หลังจากให้สารไปแล้ว 30 วัน ทำให้ใบของกล้วยไม้ ใบที่ 1 ใบที่ 2 และใบที่ 3 มีความยาวใบเฉลี่ยเพิ่มมากที่สุด โดยที่กลุ่มการทดลองควบคุมที่ไม่ใช้สารไคโตซาน มีความกว้างและความยาวใบเฉลี่ยน้อยที่สุด และพบว่าในแต่ละกลุ่มทดลองนั้น กลุ่มควบคุมมีการกักกินของหนอนและแมลง ใบเหี่ยวแห้ง ขอบใบโดนกัดกิน และต้นตายจำนวนหนึ่ง เนื่องจากทนต่อสภาพแวดล้อมได้ไม่ดี

สุวดี จันทร์กระจำ เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ สมชาย ต่วนด้าน (2546) ศึกษาผลของการใช้ไคโตซานในการปลูกพืชผักสวนครัวแบบผสมผสาน ได้แก่ พริก ผักคะน้า ผักกั้นไข่ และมะระเล็ก พร้อมกันในแปลงเดียวกัน แบ่งพื้นที่แปลงเป็น 5 ส่วน เพื่อทดสอบการใช้ไคโตซานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0, 3.75, 7.50, 11.25, และ 15.00 ppm ตามลำดับ การปฏิบัติทุกอย่างในแปลงเหมือนกันทุกประการ ยกเว้นการใช้ไคโตซานผสมน้ำฉีดพ่นในแต่ละพื้นที่ที่กำหนดไว้ด้วยปริมาณที่ต่างกันเท่านั้น นับตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยวขั้นสุดท้าย มีผลทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงขึ้นและสูงกว่าชุดควบคุม โดยอัตราการใช้ไคโตซานที่ 3.75 ppm ทำให้ผักมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2544) ศึกษาการใช้ไคโตซานเพื่อเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชจำนวน 30 ชนิด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายของไคโตซานและน้ำต่าง ๆ กัน ได้แก่ 0 : 1,000 (สภาพควบคุม) 0.5 : 1,000, 1 : 1,000 และ 1 : 2,000 พบว่า ที่อัตราส่วน 1 : 1,000 แสดงผลการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 30 ชนิดสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่น ๆ ขณะเดียวกันระยะเวลาที่ใช้ในการงอกก็ลดลงด้วยเมื่อเทียบกับสภาพควบคุม

พิระวรรณ พัฒนวิภาส เตือนใจ บุญหลง และสุวดี จันทร์กระจ่าง (2543) รายงานการทดลองใช้สารไคตินและไคโตซานเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ช่วยให้พืชดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น ทำให้พืชมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและเพิ่มปริมาณของผลผลิตได้ดีขึ้นกว่าที่ไม่ใช้สารไคติน-ไคโตซาน นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบใช้สารไคตินและไคโตซานในการเพิ่มความต้านทานของโรคน้ำค้างของข้าวโพด โดยพ่นสารไคตินและไคโตซานความเข้มข้นตั้งแต่ 50, 70 และ 100 ppm มีเปอร์เซ็นต์ของการเป็นโรคน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่พ่นโดยมีความเป็นโรคเพียง 36.1, 14.7 และ 30.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้พ่นสารไคติน-ไคโตซานซึ่งมีจำนวนการเป็นโรคน้ำค้างถึง 62.9 เปอร์เซ็นต์

Nge and others (2006) ศึกษาผลของไคโตซานสกัดจากเปลือกกุ้ง (shrimp chitosan) และเชื้อรา (fungal chitosan) ต่อการเจริญและการพัฒนาเนื้อเยื่อเจริญกล้วยไม้ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวและอาหารแข็ง มีการเพิ่มปริมาณของ protocorm-like bodies เมื่อใส่ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง ชนิดโพลิโกเมอร์และ fungal chitosan ที่ระดับความเข้มข้น 15 ppm และ 20 ppm การเพาะเลี้ยง protocorm-like body ของกล้วยไม้สกุลหวาย 'เอียสกุล' ในอาหารเหลวสูตร Vacin and Went ดัดแปลงที่เติมไคโตซานแบบต่าง ๆ ความเข้มข้น 10, 20, 40, 80 และ 160 ppm พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 160 ppm มีผลทำให้เนื้อเยื่อสีขาวและเซลล์ตาย ส่วนที่ความเข้มข้น 80 ppm มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของ protocorm-like bodies เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ให้ไคโตซาน อย่างไรก็ตามไคโตซานที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้สามารถกระตุ้นการเพิ่มปริมาณของ protocorm-like bodies ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไคโตซานโพลิเมอร์ 70 เปอร์เซ็นต์ DD และ 90 เปอร์เซ็นต์ DD เมื่อใช้ระดับความเข้มข้น 10 ppm และ 20 ppm ตามลำดับ

Barka and others (2004) ศึกษาการเจริญเติบโตขององุ่น (*Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay) ในหลอดทดลอง พบว่า เมื่อเติมไคโตซานที่อยู่ในรูปของสารละลาย ชื่อ chitogel ลงในอาหาร PDA ในการเพาะเลี้ยงองุ่น ทำให้องุ่นในหลอดทดลองมีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ chitogel ยังสามารถยับยั้งการเจริญของ *Botrytis cinerea* ได้อีกด้วย

Limpanavech (2003) ศึกษาอิทธิพลของชนิดและความเข้มข้นของไคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Dendrobium* 'เอียสกุล' โดยใช้ชนิดของไคโตซานที่เป็น oligomer

และ polymer (70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ DD) ความเข้มข้นของไคโตซานแต่ละชนิด 4 ระดับ คือ 1, 10, 50 และ 100 ppm ตามลำดับ ทำการฉีดพ่น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 68 สัปดาห์ พบว่าไคโตซานมีผลต่อการเร่งการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ ทำให้เกิดดอกเร็วกว่าชุดที่ไม่ใช้สารไคโตซาน

Luan and others (2002) ศึกษาโดยใช้ไคโตซานที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ DD (Degree of deacetylation) และความเข้มข้นสารละลายไคโตซานที่เตรียมเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ นำมาฉายรังสีในช่วง 10 - 250 kGy ใส่ในอาหารเพาะเลี้ยง เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของพืชดอกในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า ไคโตซานสามารถเพิ่มความยาวของยอด ความยาวของราก และน้ำหนักสดของ *Limonium lantifolium*, *Eustoma grandiflorum* และ *Chrysanthemum morifolium* ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 100 kGy ที่ 100 ppm สำหรับ *C. morifolium* 30 ppm สำหรับ *E. grandiflorum* และ 40 ppm สำหรับ *L. lantifolium*

Siri-Upathum (2002) ศึกษาการนำไคโตซานที่ตัดสายโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมา มาเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 25, 50, 75 และ 100 ppm และนำมาใส่ให้กับกล้วยไม้ พบว่า ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ดีขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้น 50 - 75 ppm เป็นระดับที่ให้อัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด

Tham and others (2001) ศึกษาความเป็นพิษของวานิเลียมต่อพืช และอิทธิพลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของพืช การลดระดับความเป็นพิษของวานิเลียมในพืช 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ข้าว ข้าวสาลี และข้าวบาเลย์ พบว่า การฉายรังสีระดับ 100 kGy ระดับความเข้มข้น 100 - 200 ppm จะมีคุณสมบัติในการเร่งการเจริญเติบโต ลดความเป็นพิษของวานิเลียมของกล้าข้าว และข้าวสาลีมีการเจริญเติบโตดีขึ้น

Ohta and others (1999) ศึกษาผลของไคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตใน *lilianthus* (*Eustoma grandiflorum*) ซึ่งเป็นไม้ประดับขนาดเล็ก พบว่าการใช้ไคโตซานความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ใส่ลงในดินที่ใช้ในการปลูกจะมีผลในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และเร่งการออกดอกให้เร็วขึ้น และหากทำการตัดช่อดอกก่อนอายุ 7 - 10 วัน ก่อนระยะดอกบานมาแช่ในสารละลายไคโตซาน หรือแช่ในสารละลายไคโตซานร่วมกับน้ำตาล จะทำให้ช่อดอกยึดตัวได้มากกว่าการแช่น้ำเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าการแช่ในไคโตซาน หรือการแช่ในไคโตซานร่วมกับน้ำตาล มีผลทำให้ดอกมีสีเข้มขึ้นอีกด้วย ผลการศึกษานี้อาจนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดดอกไม้เพื่อการตกแต่งต่อไป

3.2 ด้านการป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืช

ปิยะวรรณ ขวัญมงคล (2551) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Lasiodiplodia* sp. ในลำไยพันธุ์อีดอหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ไคโตซานโอลิโกเมอร์ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Lasiodiplodia* sp. ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อนำไคโตซานโอลิโกเมอร์

0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ไปฉีดพ่นให้ลำไยพันธุ์อีดอกก่อนการเก็บเกี่ยว สามารถชักนำหรือกระตุ้นให้เปลือกลำไยสร้างสารยับยั้งการเจริญเชื้อ *Lasiodiplodia* sp.

พรพิมล สีคำ (2549) ประสิทธิภาพของสารไคติน-สารไคโตซานในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชบางชนิด และการผลิตสารไคติน-ไคโตซานจากเชื้อราในกลุ่ม *Zygomycetes* พบว่า สารไคติน-ไคโตซานที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 400, 500 และ 600 mg/L สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสารไคติน-ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1,000 mg/L สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช 4 ชนิด คือ *Colletotrichum gloeosporioides* (PenZ.), *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp., *Sclerotium rolfsii* Sacc. และ *Ustilago scitaminea* Syd. ได้ 31.33, 69.89, 69.78 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Hadrami and others (2010) ศึกษาการใช้ไคโตซานในการป้องกันพืช พบว่า สารดังกล่าวมีฤทธิ์ทำให้เกิดความเป็นพิษและยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ สารที่ได้จากไคตินและไคโตซานยังทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นในพืชทำให้สามารถป้องกันการติดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ รวมทั้งทำให้เกิดการสะสม phytoalexins ที่ช่วยยับยั้งเอนไซม์ proteinase ทำให้เกิดการสังเคราะห์ลิคินินและเซลลูโลสในพืชเพิ่มขึ้น จากคุณสมบัติของไคตินและไคโตซานดังที่กล่าวมาแล้วจึงทำให้ต้นพืชที่ได้รับสารดังกล่าวมีความแข็งแรงต้านทานต่อโรค จึงมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางการเกษตรเพื่อลดการเกิดโรคพืชและทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้นและได้มีการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติกับการนำไปใช้ประโยชน์ของสารไคติน ไคโตซานรวมทั้งสารอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นจากสารดังกล่าวด้วย

Kittiya Sangpakdee and Supanee Pimsamarn (2006) ศึกษาการใช้สารสกัดจากพืชและ chitosan ในการควบคุมเพลี้ยไฟศัตรูเบญจมาศหลังการเก็บเกี่ยว จากการทดสอบการลดปริมาณเพลี้ยไฟ และผลต่ออายุการปักแจกัน โดยใช้ 2 วิธี คือการพ่นแบบถูกตัวตาย และการจุ่มดอกเบญจมาศในสารละลายที่ใช้ทดสอบ 8 ชนิด ได้แก่ สารสกัดสะเดา 5 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดหางไหลแดง 0.5 เปอร์เซ็นต์ chitosan 0.05 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดว่านหางจระเข้ 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำส้มควันไม้ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสารเคมีสังเคราะห์ คือ imidacloprid 0.04 เปอร์เซ็นต์ spinosad 0.024 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเปล่า ผลการทดลอง พบว่า การป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟที่ติดมากับดอกเบญจมาศ โดยกรรมวิธีการจุ่มดอกที่เวลา 48 ชั่วโมง การใช้สารฆ่าแมลง imidacloprid สามารถลดปริมาณเพลี้ยไฟได้ดีที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรรมวิธีการพ่นแบบถูกตัวตายที่เวลา 48 ชั่วโมง imidacloprid spinosad สารสกัดว่านหางจระเข้ สารสกัดหางไหลแดง และน้ำส้มควันไม้ สามารถลดปริมาณเพลี้ยไฟได้ดีที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารสกัดจากพืชสามารถลดปริมาณเพลี้ยไฟได้ในเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากชุดควบคุมเช่นเดียวกันกับกรรมวิธีการจุ่มดอก ในขณะที่การศึกษาผลต่ออายุการปักแจกันของดอกเบญจมาศโดยกรรมวิธีการจุ่มดอก

เบญจมาศ พบว่า chitosan มีผลต่ออายุการปักแกล้งนานที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 9.00 วัน ส่วนกรรมวิธีการพ่นดอก พบว่า สารสกัดว่านหางจระเข้ มีผลต่ออายุการปักแกล้งนานที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 10.33 วัน

Badawy and others (2005) ศึกษาการใช้สารอนุพันธ์ OAC ที่มีฤทธิ์เป็นสารฆ่าแมลง เพื่อดำเนินงานหนอนเจาะสมอ (*Spodoptera littoralis*) พบว่า สารอนุพันธ์ OAC (O-Acetyl Chitosan) มีฤทธิ์เป็นสารฆ่าแมลงและยับยั้งการเจริญเติบโตเมื่อใช้กับตัวอ่อนของหนอนเจาะสมอ ผลการศึกษา พบว่า หนอนวัยอ่อนที่ได้รับอาหารที่ผสมสารดังกล่าวจะเกิดการแคระแกร็น เนื่องจากสารอนุพันธ์ของไคโตซานที่สังเคราะห์ได้นั้นจะเข้าไปรบกวนการกินอาหารของหนอนวัยอ่อน หรืออาจทำให้เกิดความเป็นพิษ จึงทำให้การเจริญเติบโตของหนอนวัยอ่อนเหล่านั้นลดลง

นอกจากนี้สารอนุพันธ์ตัวอื่นๆ ได้แก่ O-(butyryl) chitosan, O-(2-methylbutyryl) chitosan, O-(bentanyl) chitosan และ O-(heptanoyl) chitosan สามารถทำลายตัวอ่อนของหนอนเจาะสมอได้มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ และยับยั้งการเจริญเติบโตของตัวอ่อนได้ 57 เปอร์เซ็นต์ จึงนับได้ว่าสารดังกล่าวออกฤทธิ์ในการฆ่าแมลงได้สูง จะเห็นได้ว่าสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของไคโตซานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะมีการออกฤทธิ์ได้เร็วกว่าไคโตซาน แต่ก็ยังมีสารอนุพันธ์บางชนิดที่ออกฤทธิ์ได้ช้ากว่าไคโตซาน

Rabea and others (2005) ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารกำจัดแมลงและสารกำจัดเชื้อราของสารที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่จากอนุพันธ์ของไคโตซาน ได้ทำการสังเคราะห์สารอนุพันธ์ใหม่ของไคโตซานขึ้นมา 24 ชนิด โดยใช้วิธีการต่าง ๆ กัน จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารกำจัดแมลงและสารกำจัดเชื้อราโดยทำการทดสอบกับหนอนเจาะสมอฝ้ายวัยอ่อนและเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Botrytis cinerea* Pers และ *Pyricularia grisea* Cavara สำหรับการเป็นสารกำจัดแมลงทดสอบโดยผสมสารอนุพันธ์ชนิดต่าง ๆ ในอาหารที่จะให้หนอนเจาะสมอฝ้ายวัยอ่อนกินในอัตราสาร 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม พบว่า อนุพันธ์ที่ทำหน้าที่เป็นสารกำจัดแมลงได้ดีที่สุด คือ N-(2-chloro-6-fluorobenzyl) chitosan หลังจากที่ได้ให้สารนี้ผสมกับอาหาร 2 - 3 วัน ทำให้หนอนเจาะสมอฝ้ายวัยอ่อนตายทั้งหมด แต่กลไกของปฏิกิริยายังไม่ทราบว่าจะเกิดขึ้นอย่างไร ส่วนในการเป็นสารกำจัดเชื้อรา พบว่า อนุพันธ์ของไคโตซานที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวได้ พบว่า สารอนุพันธ์ของไคโตซาน คือ N-Dodecylchitosan, N-(p-isopropylbenzyl) chitosan and N-(2,6-dichlorobenzyl) chitosan สามารถต้านทานต่อเชื้อรา *Botrytis cinerea* Pers ได้ดี และ N-(m-nitrobenzyl) chitosan สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Pyricularia grisea* ได้ดี