บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1 หน่อไม้ฝรั่ง

1.1 สถานการณ์ทั่วไปของหน่อไม้ฝรั่ง

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชที่มีรสชาติดีมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง (ตารางที่ 1) รวมทั้งยังมีสารสำคัญอื่นๆอีกหลายชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งของฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ หรือในทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า "ฟอส" ซึ่งก็คือเส้นใยอาหารชนิดพิเศษ ที่ช่วยรักษาความสมบูรณ์ของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมและลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายอีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีวิตามินอีและโฟเลตที่ช่วยต้านโรคหัวใจ ลูทีนและกลูตาไธโอนช่วยต้านอนุมูลอิสระ และนอกจากนี้ลูทีนยังช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเส้นเลือดฝอยอีกด้วย

ตารางที่ 1 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้ฝรั่งในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2535)

สารอาหาร	หน่อสีเขียว	หน่อสีขาว
น้ำ (กรัม)	92.7	91.8
พลังงาน	21	23
ไขมัน (กรัม)	0.3	0.3
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	3.6	4.1
โปรตีน (กรัม)	2.5	2.4
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	16	25
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	59	84
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.4	0.9
วิตามิน เอ	63.3	50
วิตามิน บี1 (มิลลิกรัม)	0.15	0.16
วิตามิน บี2 (มิลลิกรัม)	0.18	0.3
วิตามิน ซี (มิลลิกรัม)	20	10
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	1.8	3.0

ในการปลูกหน่อไม้ฝรั่งใช้ระยะเวลาตั้งแต่การเพาะกล้าจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนานประมาณ 1 ปีครึ่งถึง 2 ปี รวมทั้งใช้พื้นที่ปลูกและแรงงานมาก ทำให้เกิดปัญหาการผลิตในบางประเทศ ซึ่งมีพื้นที่เกษตรกรรมจำกัดและมีค่าแรงงานสูง นอกจากนี้การเพาะปลูกในเขตหนาว หน่อไม้ฝรั่งจะพักตัวทำให้ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสั้น ดังนั้นบริษัทต่างประเทศหลายบริษัทจึงได้เข้ามาส่งเสริมการผลิตในประเทศไทยเพื่อส่งออกในรูปหน่อสด แช่แข็งและบรรจุกระป๋อง นอกจากนี้หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชที่ให้ผลผลิตตอบแทนต่อไร่สูง (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2535) โดยสถานการณ์การส่งออกหน่อไม้ฝรั่งสดของไทยในรอบ 10 ปี ที่ผ่านมาพบว่ามีมูลค่าสูงขึ้นทุกปี โดยในปี 2549 มีปริมาณการส่งออกกว่า 14,286 ตัน มูลค่ากว่า 994 ล้านบาท ประเทศที่นำเข้าหน่อไม้ฝรั่งจากประเทศไทยมากที่สุดตามลำดับ ได้แก่ ญี่ปุ่น ไต้หวัน ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ ฮ่องกง อังกฤษ จีน และอินเดีย ลักษณะของหน่อไม้ฝรั่งที่ส่งออกส่วนใหญ่จะทำการแช่เย็นหรือแช่แข็ง ประมาณร้อยละ 99 ส่วนที่เหลือจะส่งออกในรูปของหน่อไม้กระป๋อง ซึ่งการส่งออกในรูปแบบนี้นั้นหน่อไม้ฝรั่งจะมีรสชาติดีกว่าการส่งออกในรูปแบบอื่น เช่น แบบกระป๋องหรือแปรรูป (สถาบันอาหาร, 2549)

ตารางที่ 2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งทั้งหมดจากประเทศไทยตั้งแต่ปี 2540-2549 (สถาบันอาหาร, 2549)

ปี	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2549	14,286	994
2548	15,799	1,133
2547	11,939	988
2546	7,047	649
2545	8,059	593
2544	7,442	479
2543	3,832	259
2542	1,576	137
2541	1,715	211
2540	1,548	165

1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์, 2542)

หน่อไม้ฝรั่ง *Asparagus officinalis* L. เป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีส่วนของลำต้นทั้งเหนือดินและใต้ดิน เมื่อลำต้นเหนือดินมีอายุมากขึ้นก็จะแก่และตายไป จะมีลำต้นใหม่ที่อยู่ใต้ดินงอกขึ้นมาทดแทน หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชที่มีอายุยาวนานตั้งแต่ 5-20 ปี จัดเป็นพืชประเภท perennial ชนิดหนึ่ง

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชในวงศ์ Liliaceae พืชในวงศ์นี้กระจายพันธุ์ทั่วไปในหลายทวีป เช่น ยุโรป เอเชีย และอาฟริกา มีจำนวนพันธุ์มากกว่า 150 พันธุ์ พืชชนิดอื่นในวงศ์เดียวกับหน่อไม้ฝรั่งมีทั้งชนิดที่รับประทานได้และรับประทานไม่ได้หลายชนิดด้วยกัน ชนิดที่รับประทานไม่ได้เป็นที่รู้จักกันในฐานไม้ประดับเรียกว่า Asparagus ferns

ส่วนของลำต้นใต้ดินของหน่อไม้ฝรั่งหรือ rhizome ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร ลำต้นใต้ดินนี้มีลักษณะคล้ายราก แทงออกด้านข้างเป็นรัศมี เรียกได้อีกอย่าหนึ่งว่า crown หรือเหง้า รากหาอาหารของหน่อไม้ฝรั่งจะเจริญออกจากส่วนของเหง้าที่มีอายุน้อยและกระจายออกไปรอบๆระบบรากของหน่อไม้ฝรั่งจะแผ่ขยายออกไปประมาณ 3-5 ฟุต หรือมากกว่านั้น ส่วนยอดอ่อนหรือหน่ออ่อนของหน่อไม้ฝรั่งซึ่งเป็นส่วนที่นิยมบริโภคนั้นจะเจริญมาจากเหง้าแล้วแทงโผล่ขึ้นเหนือดิน เรียกหน่ออ่อนที่แทงขึ้นเหนือดินนี้ว่า spear

หน่ออ่อนหรือยอดอ่อนจะเจริญเป็นลำต้นเหนือพื้นดิน ปลายยอดหน่ออ่อนมีรูปร่างกลม ปลายมนค่อนไปทางแหลมและถูกปกคลุมด้วยใบแท้ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมเล็กๆคล้ายเกล็ดบางๆ ด้านในเป็นร่อง ใบแท้จะติดอยู่ที่ลำต้นหน่อไม้ฝรั่งตรงข้อทุกข้อ เมื่อหน่ออ่อนเจริญขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นต้นที่สมบูรณ์จะมีความสูงจากพื้นดินประมาณ 1.5-2 เมตร ลำต้นจะเจริญแยกเป็นส่วนของกิ่งก้าน และมีลำต้นบางส่วนเปลี่ยนไปทำหน้าที่ใบภาพส่วนรวมของหน่อไม้ฝรั่งโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายคลึงกับเฟิร์น

หน่อไม้ฝรั่งมีต้นเพศผู้และเพศเมียแยกอยู่คนละต้น หรือเป็น (dioecious plant) ดอกของทั้งสองเพศจะมีขนาดเล็กและมีจำนวนมากเกิดตามกิ่งหรือก้าน โดยมีแมลงชนิดต่างๆเป็นพาหะนำละอองเรณู โดยหน่อที่เกิดจากต้นตัวเมียนั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าต้นตัวผู้เนื่องจากต้นตัวเมียสะสมพลังงานและอาหารเพื่อใช้ในการสร้างผลและเมล็ดไว้มากจึงมีพลังงานและอาหารสำหรับเลี้ยงหน่ออ่อนในปริมาณสูงซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นตัวผู้ที่จะให้หน่อขนาดเล็กกว่า อย่างไรก็ตามต้นตัวผู้จะให้หน่อดกกว่าและจากผลการศึกษาพบว่าอายุขัยของต้นตัวเมียจะสั้นกว่าต้นตัวผู้

1.3 พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย (คณะเกษตรสัญจร, 2530 ; เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์, 2542 ; ธนพันธุ์ จอมพิทักษ์, 2545)

1. พันธุ์แมรี่ วอชิงตัน (Mary Washington) เป็นหน่อไม้ฝรั่งสายพันธุ์แรกที่นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยซึ่งได้ผลเป็นอย่างดี เหมาะสมกับการนำมาปลูกทั้งแบบเป็นหน่อขาวและหน่อเขียว อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ปรากฏว่าพันธุ์ดังกล่าวไม่เป็นที่นิยมในการปลูกกันแล้ว สาเหตุเพราะให้ผลผลิตที่ต่ำกว่าสายพันธุ์อื่นๆที่มีอยู่ เกษตรกรจึงไม่นิยมสายพันธุ์นี้

2. พันธุ์ยูนิเวอร์ซิตี้ ออฟ แคลิฟอร์เนีย 309 (University of California 309) จากการทดสอบของศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักในเวลา 1 ปีพบว่าเป็นพันธุ์ที่แข็งแรงมีแนวโน้มในการให้ผลผลิตดีกว่าพันธุ์แมรี่ วอชิงตัน และพันธุ์ยูนิเวอร์ซิตี้ ออฟ แคลิฟอเนีย 500 โดยให้ขนาดหน่อใหญ่กว่า และยังสามารถให้ผลผลิตได้ดีทั้งหน่อขาวและหน่อเขียว
3. พันธุ์ยูนิเวอร์ซิตี้ ออฟ แคลิฟอร์เนีย 500 (University of California 500) สายพันธุ์นี้ให้ผลผลิตใกล้เคียงกับทั้งสองสายพันธุ์ที่กล่าวมาแล้ว และจากรายงานของต่างประเทศพบว่าสายพันธุ์นี้ยังมีอายุการเก็บเกี่ยวยาวนานทั้งสองสายพันธุ์อีกด้วย และก็สามารถให้ผลผลิตได้ดีทั้งหน่อขาวและหน่อเขียวเช่นกัน
4. พันธุ์มาร์ธา วอชิงตัน (Martha Washington) เป็นพันธุ์นำเข้ามาปลูกทดสอบในประเทศไทยได้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 2-5 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพันธุ์แมรี่วอชิงตัน หน่อไม้ฝรั่งสายพันธุ์นี้จะมีสีเข้มน้อยกว่าในสายพันธุ์แมรี่ วอชิงตัน
5. พันธุ์ไฮบริด อิมพีเรียล (Hybrid Imperial) นับว่าเป็นสายพันธุ์ที่ดีอีกสายพันธุ์หนึ่ง เพราะให้ผลผลิตที่ดีกว่าหน่อไม้ฝรั่งทั้ง 4 สายพันธุ์ข้างต้นปลูกได้ทั้งหน่อขาวและหน่อเขียว ภายหลังเกาตรกรจึงนิยมปลูกหน่อไม้ฝรั่งนี้
6. พันธุ์บร็อคอิมพรูฟ (Brock's improved) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ทดลองปลูกสายพันธุ์นี้แล้วพบว่าเป็นสายพันธุ์ของหน่อไม้ฝรั่งที่น่าสนใจมาก เนื่องจากให้ผลผลิตสูงมากกว่าทั้ง 5 สายพันธุ์ข้างต้น จึงทำให้เมล็ดพันธุ์มีราคาแพงมากกว่าทุกๆสายพันธุ์ที่กล่าวมาแล้ว หน่อไม้ฝรั่งสายพันธุ์นี้มีขนาดใหญ่มาก ให้ราคาสูง ผลผลิตต่อไร่ยังสูงมากอีกด้วย หน่อมีเนื้อมาก รสชาติดี ปัจจุบันนี้เกษตรกรส่วนใหญ่หันมาปลูกหน่อไม้ฝรั่งสายพันธุ์นี้มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดนครปฐม

1.4 การเพาะปลูกและดูแลรักษาหน่อไม้ฝรั่ง

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชข้ามปี กล่าวคือใช้เวลาปลูกตั้งแต่เพาะกล้าจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 1 ปีครึ่งถึง 3 ปี ระยะเวลาของการปลูกนี้ขึ้นอยู่กับการคัดเลือกพันธุ์ การเพาะเมล็ด รวมไปถึงการดูแลรักษาของต้นกล้า การขยายพันธุ์ของหน่อไม้ฝรั่งนี้สามารถทำได้ 3 วิธีคือ การขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด การแยกกอ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งวิธีที่นิยมมากที่สุดในประเทศไทยคือ วิธีการเพาะเมล็ด เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่เหมาะแก่การนำมาเพาะให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงและเจริญเติบโตดีควรมีขนาดกลางและสมบูรณ์ ผิวเรียบ (Belletti, 1985) แปลงปลูกหน่อไม้ฝรั่งที่ดีควรยกร่องสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร ห่างกัน 1.5-2.0 เมตร หลอดเมล็ดลึก 10 เซนติเมตร โดยใช้เมล็ด 2-3 เมล็ดต่อหลุม หยอดห่างกัน 30-50 เซนติเมตรต่อหลุม ให้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี สารเคมีป้องกันกำจัดและแมลง เมื่อต้น

กล้าเจริญถอนให้เหลือเพียง 1 ต้นต่อ 1 หลุม การปลูกโดยวิธีนี้จะสามารถเก็บเกี่ยวได้ในเวลา 2-3 ปี (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2535)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ ได้แก่ อุณหภูมิและสภาพของดินปลูก หน่อไม้ฝรั่งจะเจริญได้ดีจะต้องมีช่วงเวลากลางวันที่ยาวนาน หรือกล่าวได้ว่าต้องได้รับแสงเพียงพอ เพื่อให้สร้างอาหารได้อย่างเต็มที่ เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 15.6 องศาเซลเซียส จะทำให้หน่อไม้ฝรั่งหยุดชะงักการหายใจ และถ้าอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน หน่อไม้ฝรั่งจะเข้าสู่ระยะพักตัว ดังนั้นประเทศไทยจึงเหมาะสมต่อการปลูกหน่อไม้ฝรั่งเป็นอย่างมากเนื่องจากไม่มีช่วงอากาศหนาวที่ยาวนาน และได้มีงานวิจัยสนับสนุนว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งคือ 24-35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย ระยะเวลาของการให้ผลผลิตจึงยาวนานกว่าประเทศในเขตหนาว อย่างในทางกลับกันในบางปีประเทศไทยมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ก็จะมีผลให้ลดปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่งได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่งที่ปลูกในที่ที่อุณหภูมิสูงนั้นจะมีสีเขียวน่ารับประทานมากกว่าต้นที่ปลูกในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งจะมีลักษณะเหี่ยวกว่า (คณะเกษตรสัญจร, 2530)

สิ่งสำคัญที่สุดของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญของหน่อไม้ฝรั่งคือ ต้องเป็นดินที่ระบายน้ำได้ดีและมีระดับน้ำใต้ดินต่ำ เพราะหน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชผักที่มีรากยาว ระบบรากจะกระจายไปรอบๆ ดังนั้นดินที่มีการระบายน้ำไม่ดีจะทำให้รากแผ่กระจายได้ไม่ไกลทำให้รากมีประสิทธิภาพในการหาอาหารต่ำ โตช้า และให้ผลผลิตต่ำในที่สุด สภาพอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1. เป็นดินที่มีหน้าดินลึกและอุดมสมบูรณ์
2. เป็นดินร่วนปนทราย โดยดินที่มีอัตราส่วนของทรายเยอะกว่านั้นนอกจากจะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำแล้วยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยมาก แต่หากเป็นดินเหนียวมากเกินไปแล้วนั้นจะทำให้อุ้มน้ำได้ไม่ดีหน่อไม้ฝรั่งที่ได้มีลักษณะคดงอ
3. เป็นดินที่มีอินทรียวัตถุมาก
4. เป็นดินที่มีการระบายน้ำได้ดี
5. เป็นดินที่มีความเป็นกรด-ด่างปานกลาง หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-7.5 แต่จากการศึกษาพบว่าหน่อไม้ฝรั่งทนทานต่อดินที่เป็นด่างได้ดีกว่าดินที่เป็นกรด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปลูกหน่อไม้ฝรั่งในสภาวะที่ไม่เหมาะสมแล้วนั้นผลผลิตต่อไร่จะต่ำและอายุของต้นจะสั้นกว่าปกติ

(เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์, 2542)

อย่างไรก็ตาม สภาวะที่เหมาะสมต่อการปลูกหน่อไม้ฝรั่งหน่อขาวและหน่อเขียวนั้นแตกต่างกัน โดยการปลูกหน่อไม้ฝรั่งแบบหน่อขาวเป็นการปลูกแบบการเอาดินหรืออินทรียวัตถุมากลบ หรือคลุมโคนต้นหน่อไม้ฝรั่งเอาไว้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้หน่ออ่อนของหน่อไม้ฝรั่งสัมผัสกับ

แสงแดด เลยทำให้หน่อไม้ฝรั่งที่เจริญต่อมาเป็นสีขาว ส่วนหน่อไม้ฝรั่งหน่อเขียวนั้นสามารถปล่อยให้หน่อเจริญสัมผัสกับอากาศและแสงแดดได้ตามปกติ (ธนพันธุ์ จอมพิทักษ์, 2545)

1.5 การเก็บเกี่ยวและกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว

หน่อไม้ฝรั่งหน่อเขียวนั้นเป็นหน่อที่ใช้บริโภคสด จึงต้องรอให้หน่ออ่อนแทงพ้นดินจนกระทั่งมีความสูงประมาณ 20-24 เซนติเมตรจากพื้นดิน หน่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 0.5 เซนติเมตรจะถูกคัดไว้บริโภคเอง หน่ออ่อนของหน่อไม้ฝรั่งที่ตัดในปีแรกส่วนใหญ่จะเป็นหน่อเล็ก เนื่องจากเหง้ายังไม่ได้สะสมอาหารอย่างเต็มที่ ในปีต่อมา จึงจะให้หน่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและในแต่ละปีเกษตรกรจะตัดหน่ออ่อนได้เป็นระยะเวลานาน 8-9 เดือน ข้อควรระวังสำหรับการเก็บเกี่ยวหน่อไม้ฝรั่งคือควรเว้นระยะเวลาการเก็บเกี่ยวให้หน่อไม้ฝรั่งมีโอกาสพักตัวเพื่อเก็บสะสมอาหารโดยในแต่ละปีควรมีระยะพักนาน 3-4 เดือน การเก็บเกี่ยวหน่อไม้ฝรั่งนั้นควรเก็บเกี่ยวในตอนเช้าช่วงเวลา 6.00-9.00 น. เพราะหากเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีแดดจัดจะได้หน่อไม้ฝรั่งที่ลักษณะหน่อแข็งและมีเส้นใยมาก รสชาติด้อยกว่าหน่อที่เก็บในตอนเช้า รวมถึงสีของหน่อไม่สวยงามน่ารับประทานอีกด้วย (เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์, 2542)

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ต้องนำหน่อไม้ฝรั่งเข้าร่มทันที แล้วล้างดินออกด้วยน้ำสะอาด ตัดหน่อไม้ฝรั่งให้ได้ตามความยาวที่ต้องการ โดยหน่อยาวจะมีความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร และหน่อสั้นจะมีความยาวประมาณ 18 เซนติเมตร ซึ่งเป็นความยาวมาตรฐานในการรับซื้อ นำหน่อไม้ไปคัดเลือกขนาดตามลักษณะดังตารางที่ 3 แล้วนำมารวมเป็นมัด มัดละ 1-1.5 กิโลกรัม วางในแนวตั้งเพื่อความสะดวกต่อการบรรจุและการขนส่ง

ตารางที่ 3 ตารางแสดงขนาดของหน่อไม้ฝรั่งตามเกรดต่างๆ

ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง	
	หน่อไม้ฝรั่งปอกเปลือก	หน่อไม้ฝรั่งไม่ปอกเปลือก
เล็ก (เกรดซี)	ไม่เกิน 0.6 เซนติเมตร	ไม่เกิน 1.0 เซนติเมตร
กลาง (เกรดบี)	0.8-1.3 เซนติเมตร	1.0-1.5 เซนติเมตร
ใหญ่ (เกรดเอ)	1.3-1.8 เซนติเมตร	1.5-2.0 เซนติเมตร
ใหญ่พิเศษ (เกรดจัมโบ้)	เกิน 1.8 เซนติเมตร	เกิน 2.0 เซนติเมตร

คุณภาพมาตรฐานของหน่อไม้ฝรั่งที่ผู้รับซื้อยอมรับจะต้องมีลักษณะของยอดหน่อแน่นและไม่บาน ต้องไม่มีช่อใบโผล่ตรงกาบหุ้มใบออกมา สะอาดปราศจากของโรคและแมลงทำลาย ลักษณะของหน่อจะต้องตรงไม่คดงอไม่แตระแกรน ส่วนโคนต้องเป็นสีเขียว มีน้ำหนักหน่อมากในการคัดเลือกไปแยกเกรดนั้นจะพิจารณาจากส่วนที่เป็นสีเขียวเท่านั้น

1.6 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว

หน่อไม้ฝรั่งที่นำมาบริโภคกันนั้นคือบริเวณยอดของต้น ซึ่งยังคงมีการเจริญเติบโตอยู่ เนื่องจากเป็นเนื้อเยื่อเจริญ พืชผักในลักษณะนี้มีโอกาสเสียหายได้ง่ายอันเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น ที่บริเวณยอดอ่อนนี้เนื้อเยื่อยังมีความอ่อนแอสูงอาจเกิดการบอบช้ำได้ง่ายเมื่อเทียบกับส่วนอื่น เซลล์ยังคงเป็นเซลล์ที่มีชีวิตและยังมีการหายใจสูงเนื่องจากเซลล์ยังมีกิจกรรมตลอดเวลา ประกอบกับอิทธิพลทางพันธุกรรมของหน่อไม้ฝรั่งที่มีผลให้หน่อไม้ฝรั่งมีอัตราการหายใจที่อยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นคือประมาณ 100-200 $mgCO_2/Kg.hr$ และพืชประเภทผักนี้จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักหรือขนาดสูงทำให้มีพื้นที่ในการสูญเสียน้ำเยอะกว่าพืชประเภทผล และเซลล์ที่ยังหายใจอยู่บริเวณผิวของพืชต้องมีการเปิดปากใบเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียน้ำได้อีกทางหนึ่ง รวมถึงบาดแผลที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวก็ทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากบริเวณนั้นได้มาก ในเซลล์บริเวณเนื้อเยื่อเจริญจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมาก เนื่องจากมีกระบวนการต่างๆเกิดขึ้นตลอดเวลา ทั้งกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมของพืชผักด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของหน่อไม้ฝรั่งนั้นคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงของบริเวณเนื้อเยื่อเจริญข้างต้น อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เก็บรักษาด้วยการเปลี่ยนแปลงที่สามารถเห็นได้จากภายนอก เช่น การบานของใบที่บริเวณยอดซึ่งจะมีผลทำให้คุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งนั้นลดลง เกิดการโค้งงอบริเวณยอดของหน่อไม้ฝรั่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Morris และ Watada, 1960) และการลดลงของความสดและปริมาณน้ำในเซลล์ (Anon, 1986) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเมื่อเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วันแล้วยอดหน่อไม้ฝรั่งมีการโค้งงอถึง 30 องศา และมีแนวโน้มที่จะโค้งงอมากขึ้นเมื่อเก็บรักษายาวนานขึ้น (Chen และ Paull, 1999) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดก็เป็นอีกดัชนีหนึ่งที่สามารถบอกได้ถึงมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเซลล์ที่บริเวณผิวนั้นจะมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดและจะแสดงอาการเหี่ยวที่บริเวณผิว น้ำหนักสดของหน่อไม้ฝรั่งมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆของหน่อไม้ฝรั่งอีกด้วย (Villanueva และคณะ, 2005; Albanese และคณะ, 2007; Siomos, Sfakiotakis และ Dogras, 2000) การเปลี่ยนแปลงอีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวคือความเหนียวซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือการเพิ่มขึ้นของเส้นใยโดยเฉพาะการเกิดพอลิเมอร์ของเส้นใยลิกนินหรือเรียกว่ากระบวนการ lignification ซึ่งถูกควบคุมโดยเอนไซม์หลายชนิด เช่น phenylalanine ammonia lyase (PAL), peroxidase หรือ isoperoxidase (Chang, 1987) ได้มีผู้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase ในหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บรักษาพบว่าการทำงานของเอนไซม์จะมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาและหลังจากนั้น

จะมีค่าลดลง แต่ก็ยังมีค่ามากกว่าในวันแรกของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของเส้นใย 3 ชนิด ได้แก่ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (An และ Lu, 2005) ความเหนียวของหน่อไม้ฝรั่งนี้ยังส่งผลถึงรสสัมผัสในการบริโภคหน่อไม้ฝรั่งอีกด้วย

นอกจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายนอกแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงอีกหลายประการที่เกิดขึ้นภายใน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ Kadar (1992) พบว่าการหายใจนั้นเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้หน่อไม้ฝรั่งนั้นมีอายุสั้น โดยเฉลี่ยหน่อไม้ฝรั่งจะมีอัตราการหายใจประมาณ 60 $mgCO_2/Kg.hr$ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0-20 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการหายใจมีค่าลดลงใน 20 ชั่วโมงแรกและหลังจากนั้นจะมีการหายใจที่ค่อนข้างคงถึง 100 ชั่วโมง (Brash และคณะ, 1995) การสลายของคลอโรฟิลล์ก็เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนไปได้ด้วยหลายกระบวนการ (Shapira, Goldschimdt และ Alman, 1987) เช่น โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ chlorophyllase (Sabator และ Rodrisol, 1978) การสลายของคลอโรฟิลล์นี้มีผลทำให้สีของหน่อไม้ฝรั่งเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ในหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวนั้นจะมีค่าน้อยลงเป็นอย่างมากถึง 80% ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับ hue angle ที่ค่าของสีเขียวที่มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน (Albanese และคณะ, 2007)

ในกระบวนการเสื่อมของพืชนั้นจะก่อให้เกิดความเครียดบางประการแก่พืช เช่น oxidative stress โดยในตัวพืชเองก็จะมีกระบวนการป้องกันตัวเองโดยการสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อรักษาสมดุลให้กับระบบในเซลล์ (Asada, 1997) เช่นเดียวกันกับในหน่อไม้ฝรั่งซึ่งมีการสร้างเอนไซม์ดังกล่าวนี้เพื่อรับมือกับสภาวะเสื่อมที่เกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยว จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ superoxide dismutase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase นี้จะลดลงเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปหน่อไม้ฝรั่งจะได้รับความเสียหายอันเกิดจากการเพิ่มขึ้นของไอออนที่เป็นอันตรายในเซลล์ (An, Zhang และ Lu, 2005) นอกจากความเครียดที่กล่าวมาแล้วหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตลดลงซึ่งจะเป็นอันตรายกับเซลล์โดยเซลล์จะมีการสะสมน้ำตาลในรูปฟรุกโตสมากกว่ากลูโคสและซูโครส เห็นได้จากปริมาณกลูโคสและซูโครสมีค่าลดลงตั้งแต่แรกเก็บเกี่ยวอย่างรวดเร็ว แต่ปริมาณฟรุกโตสนั้นจะมีค่าคงที่อยู่ช่วงหนึ่งหลังจากนั้นจึงจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน (Irving และ Hurst, 1993) การลดลงของน้ำตาลนี้จะทำให้เซลล์ไม่มีพลังงานที่จะนำมาใช้ในการหายใจส่งผลให้เซลล์อาจตายได้ การลดลงของคาร์โบไฮเดรตนี้เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด เช่น glucose-6-phosphate dehydrogenase, phosphoglucose isomerase, fructose-6-phosphate phosphotranferase หรือ sucrose synthase นอกจากนี้ Donoghue และคณะ (1998) พบว่ายีน β-

galactosidase ที่สามารถแปลรหัสได้เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายน้ำตาล มีระดับของการแสดงออกเพิ่มมากขึ้นในหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลที่ลดลงดังที่กล่าว

หน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวยังมีการลดลงของปริมาณกรดอะมิโนบางชนิด เช่น lysine, methionine, cystine และ tryptophan ซึ่งล้วนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต กรดอะมิโนเหล่านี้ถูกทำลายโดยกระบวนการ desulfuration, deamination และ isomerization ซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อเซลล์ (Cheftel และคณะ, 1989; Hurrel, 1984) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการลดลงของปริมาณกรดอะมิโนที่สามารถเห็นได้จากปริมาณของแอมโมเนียมที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้หากเกิดขึ้นในพืชผักจะเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงและสลายของกรดอะมิโนหลายชนิด (López และคณะ, 1996 (a)) ถึงแม้ว่ากรดอะมิโนในหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวจะมีค่าลดลง แต่ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส มีเพียงแต่ปริมาณโซเดียมที่มีค่าลดลง (Lopez และคณะ, 1996 (b))

นอกจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่กล่าวมานี้ยังมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงระดับเซลล์ในหน่อไม้ฝรั่งอีกกระบวนการหนึ่งอันได้แก่ การสลายของ DNA ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่อยู่ในกระบวนการตายของเซลล์และง่ายต่อการตรวจสอบสัญญาณการเข้าสู่ภาวะเสื่อมของเซลล์ การสลายของ DNA นี้เกิดจากเอนไซม์จำพวก proteolytic enzyme (Beers และคณะ, 2000) จากการศึกษาในหน่อไม้ฝรั่งพบว่าเริ่มมีการสลายของ DNA หลังจากเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 6 ชั่วโมงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และที่ 12 ชั่วโมงมีการสลายของ DNA เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก สอดคล้องกับปริมาณนิวคลีอายที่ลดลงอย่างรวดเร็วที่ 36 ชั่วโมง การสลายของ DNA นี้อาจก่อให้เกิดการแสดงออกของยีนที่ผิดปกติทำให้ไม่สามารถสร้างโปรตีนบางชนิดได้ (Eason, Pinkney และ Johnston, 2002)

1.7 แนวทางการยืดอายุหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากหน่อไม้ฝรั่งมีความสำคัญหลายประการดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงมีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของหน่อไม้ฝรั่งเป็นจำนวนมาก โดยสรุปแล้วมีหลายวิธีที่สามารถยืดอายุหน่อไม้ฝรั่งได้ซึ่งอาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้ คือ การดัดแปลงสภาพบรรยากาศ การควบคุมสภาพบรรยากาศโดยใช้บรรจุภัณฑ์ต่างๆ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการใช้สารเคมี วิธีเหล่านี้คล้ายคลึงกับการยืดอายุพืชชนิดอื่น แต่ด้วยลักษณะของหน่อไม้ฝรั่งที่เป็นพืชผักส่วนยอดอ่อนทำให้เพิ่มข้อจำกัดในการประยุกต์วิธีบางวิธีต่อการยืดอายุหน่อไม้ฝรั่ง

การดัดแปลงสภาพบรรยากาศนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การให้โอโซน (O_3) ซึ่งมีรายงานว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำและยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของแอปเปิ้ลและส้มได้เนื่องจากโอโซนจะไปแทนที่กาซออกซิเจนซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญต่อกระบวนการสร้างเอทิลีน และยังสามารถ

ลดการติดเชื้อในผลเบอรี่สีดำและผลองุ่นได้ (Beuchat, 1992) เมื่อจุ่มหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวในโอโซนชนิดเหลวเป็นเวลา 30 นาทีและทำการเก็บรักษาควบคู่กับการดัดแปลงวิธีการเก็บรักษาแล้วพบว่าการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ได้ ซึ่งเมื่อทำการทดลองควบคู่ไปกับการดัดแปลงวิธีการเก็บรักษามีผลให้การทำงานของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกับการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว สภาวะร่วมนี้ยังมีผลให้เอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นใยมีการทำงานต่ำลงสอดคล้องกับปริมาณเส้นใยที่สามารถรักษาระดับได้ตลอดระยะเวลาการศึกษา 25 วัน ในหน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับสภาวะร่วมเดียวกันนี้ (An, Zhang และ Lu, 2005) การให้โอโซนแก่หน่อไม้ฝรั่งยังสามารถให้ในรูปของกาซได้อีกด้วย โดยรมด้วยกาซเป็นเวลา 20 นาทีได้ผลสอดคล้องกับการจุ่มในโอโซนในรูปของเหลว กล่าวคือสามารถลดระดับอัตราการหายใจ รักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ รักษาปริมาณวิตามินซี และลดการสลายของคลอโรฟิลล์ ปรากฏการณ์เหล่านี้จะส่งผลให้หน่อไม้ฝรั่งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากการประเมินพบว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการรมก๊าซโอโซนก่อนการเก็บรักษานั้นมีคะแนนลักษณะโดยรวมสูงที่สุด (Li, Zhang และ Qing, 2006) นอกจากกาซโอโซนแล้วยังมีการให้กาซเฉื่อยบางชนิดเช่น อาร์กอนและซีนอน กาซสองชนิดนี้เป็นกาซที่ไม่มีขั้วมีคุณสมบัติและมีการรายงานว่าสามารถลดการเจริญเติบโตของจุลชีพและรักษาคุณภาพของบรอคโคลี่และกะหล่ำปลีได้ (Day, 1996, 1998; Jamie และ Saltveit, 2002) ในการดัดแปลงสภาพบรรยากาศการเก็บรักษาของหน่อไม้ฝรั่งโดยให้กาซทั้งสองชนิดนี้พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน หน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับกาซทั้งสองชนิดนี้จะมีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้รับกาซเฉื่อย แต่ยังมีการสูญเสียน้ำมากกว่าในหน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับการดัดแปลงวิธีการเก็บรักษาโดยการเก็บในถุง polyvinyl chloride (PVC) แต่ทั้งสองกลุ่มนี้สามารถรักษาน้ำหนักสดให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ คือมีการสูญเสียน้ำหนักสดไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (An และคณะ, 2004) แต่ก๊าซทั้งสองชนิดนี้มีผลทำให้อัตราการหายใจของหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวนั้นคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 18 วัน โดยที่การเก็บในถุง PVC นั้นอัตราการหายใจจะสูงที่สุดในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา รวมถึงสามารถลดการเพิ่มขึ้นของเส้นใย รักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์และลดการสลายของคลอโรฟิลล์ไว้ได้ดีที่สุดด้วย (Zhang และคณะ, 2008)

การยืดอายุหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีการดัดแปลงวิธีการเก็บรักษาเพียงอย่างเดียวคือการบรรจุหน่อไม้ฝรั่งในบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน เทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนามาตามยุคสมัยทำให้มีบรรจุภัณฑ์หลายชนิดด้วยกัน (Tomkins และ Cumming,1988; Baxter และ Waters, 1991; Everson และคณะ, 1992) คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่แล้วจะสามารถควบคุมปริมาณการเข้าออกของกาซออกซิเจน กาซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำทำให้มี

ผลต่อการควบคุมอัตราการหายใจ ดังนั้นพืชผักต่างชนิดกันอาจจะเหมาะสมต่อบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกันด้วย (Fonseca, Oliveira และ Brecht, 2002; Kadar, Zagory และ Kerbel, 1989)

ตัวอย่างของงานวิจัยที่ทดลองใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของหน่อไม้ฝรั่งนี้มักจะควบคู่ไปกับการศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษา เช่น การศึกษาผลของฟิล์มยืดความหนา 16 ไมโครเมตรที่สามารถควบคุมอัตราการถ่ายเทกาซออกซิเจนและกาซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 583 และ 1,750 ml m^{-2} h^{-1} atm^{-1} ตามลำดับและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 39 องศาเซลเซียสและความชื้นเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ และเก็บที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 2.5-25 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะคงที่และปริมาณกาซออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 12 ของการเก็บรักษา ซึ่งจะคล้ายคลึงกับที่อุณหภูมิสูง ยกเว้นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างหน่อไม้ฝรั่งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์กับที่ไม่บรรจุในวัสดุใดๆเลย พบว่าหน่อไม้ฝรั่งที่มีบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอยู่สามารถลดสูญเสียน้ำหนักสด รักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ รักษาปริมาณวิตามินซี ลดความเหนียวและปริมาณไฟเบอร์แตกต่างจากในหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่บรรจุในวัสดุใดๆเลยอย่างมีนัยสำคัญ (Siomos, Sfakiotakis และ Dogras, 2000)

วิธีการยืดอายุหน่อไม้ฝรั่งอีกวิธีหนึ่งคือการให้ความร้อน โดยมีวัตถุประสงค์ในการกำจัดแมลง ป้องกันโรค ชะลอการสุกหรือการเสื่อมสภาพการความเสียหายจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ รักษาคุณภาพ และกระตุ้นสัญญาณบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับการทนต่อสภาวะ stress ต่างๆ ของพืชในระหว่างการเก็บรักษา (Paull และ Chen, 2000) ซึ่งความนิยมในการใช้ heat treatment ที่เพิ่มขึ้นนี้เนื่องมาจากความต้องการลดการใช้สารเคมีต่างๆ ที่เป็นอันตราย การใช้ความร้อนสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ การใช้น้ำร้อน การใช้ไอน้ำร้อน และการใช้ลมร้อน (Lurie, 1998) จากการทดลองให้ความร้อนกับหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวโดยการแช่ในน้ำร้อนที่ 45 และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลาตั้งแต่ 3-12 นาที พบว่าการแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3-10 นาที สามารถลดการโค้งงอของยอดหน่อไม้ฝรั่งได้ และหน่อไม้ฝรั่งที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาทีมีลักษณะที่ปรากฏภายนอกโดยรวมดีที่สุด (Paull และ Chen, 1999) สอดคล้องกับงานวิจัยฉัดมาที่ศึกษาในหน่อไม้ฝรั่งหน่อขาวและซึ่งได้ผลว่าการแช่หน่อไม้ฝรั่งหน่อขาวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50-55 เป็นนั้นสามารถลดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด และรักษาสีขาวของหน่อไม้ฝรั่งหน่อขาวไว้ได้เนื่องจากการให้ความร้อนนี้จะไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วง มีผลให้หน่อไม้ฝรั่งหน่อขาวไม่เกิดสีคล้ำขึ้นระหว่างการเก็บรักษานอกจากนี้การให้ความร้อนยังช่วยรักษาลักษณะที่ปรากฏภายนอกโดยรวม และลดความเหนียวในหน่อไม้ฝรั่งหน่อขาว (Siomos, Gerasopoulos และ Tsouvaltzis, 2005) ซึ่งตามปกติแล้วจะเหนียวกว่าในหน่อไม้ฝรั่งหน่อเขียวอีกด้วย (Rodrigo และคณะ, 1978)

การใช้สารเคมีก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการยืดอายุหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะเลือกใช้สารเคมีชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการยืดอายุ เช่น การจุ่มในเอธานอลจะช่วยให้หน่อไม้ฝรั่งมีโอกาสในการติดเชื้อก่อโรคลดลง หรือการให้ฮอร์โมนกลุ่มไซโตไคนินซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมของพืช โดยสามารถยับยั้งการเสื่อมในใบพืชและในเนื้อเยื่อดอกบางชนิดได้ (Werf และ Nagel, 1996; Wingler และคณะ, 1998) การให้ไซโตไคนินจากภายนอกนั้นมีผลชะลอการเข้าสู่ภาวะเสื่อมของพืช รักษาระดับการทำงานของคลอโรฟิลล์ ลดการสลายของคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการขนย้ายโปรตีนแร่ธาตุและสารอาหารมาสู่บริเวณที่ได้รับไซโตไคนิน (Taiz และ Zeiger, 2002) An และคณะ (2006) ได้ศึกษาถึงการให้ 6-benzylaminopurine ซึ่งเป็นฮอร์โมนไซโตไคนินชนิดหนึ่งแก่หน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวโดยการจุ่มสูงครึ่งหนึ่งของยอดหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับฮอร์โมนไซโตไคนินนั้นมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนสูง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้รับฮอร์โมนตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อคำนวณออกมาในรูปอัตราการหายใจแล้วพบว่า 6-benzylaminopurine ช่วยลดอัตราการหายใจของหน่อไม้ฝรั่งได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังลดการสลายของคลอโรฟิลล์และวิตามินซี ลดปริมาณการสร้างเส้นใย รักษาคุณภาพในเรื่องของสี กลิ่น รสสัมผัส และลักษณะที่ปรากฏภายนอกของหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวได้อีกด้วย

2 ไคติน-ไคโตซาน

2.1 ที่มาของไคติน-ไคโตซาน

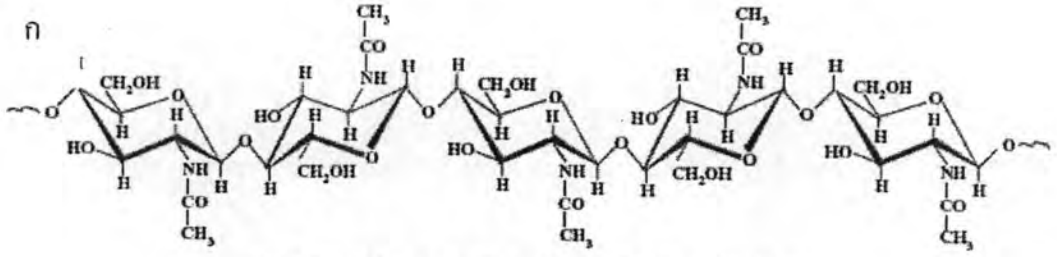
ไคติน (poly(2-acetamino-2-deoxy-D-glucose) หรือ poly(N-acetylglucosamine)) (Horton et al., 2003) เป็นสารชีวภาพในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส มีลักษณะเป็นสายเชื่อมด้วยพันธะ $\beta(1\rightarrow4)$ ที่ประกอบด้วย N-acetylglucosamine (Lower, 1984; Skaugrud และ Sargent, 1990) ต่างจากเซลลูโลสที่ประกอบด้วย D-glucose ส่วนใหญ่แล้วไคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงและป้องกันอันตรายให้แก่สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม Crustacean เช่น เป็นส่วนประกอบของแกนหมึก เปลือกของกุ้งและปู ไคตินยังสามารถพบได้ในหอยเปลือกแข็งกลุ่ม mollusca และสามารถพบได้โครงสร้างที่คล้ายเปลือกในกลุ่ม insecta ได้แก่พวกแมลงชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังพบว่าไคตินเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเห็ดหรือผนังเซลล์ของราบางชนิด รวมถึงจุลชีพอื่นอีกหลายชนิด (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2543) สามารถแบ่งไคตินออกเป็นชนิดต่างๆตามโครงสร้างของไคตินได้ 3 ประเภท ได้แก่ ไคตินแบบแอลฟา (α-chitin) เบตา (β-chitin) และแกมมา (γ-chitin) ความแตกต่างนี้เกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุลที่แตกต่างกันโดยในธรรมชาติสามารถพบแอลฟาไคตินมากที่สุด (Muzzarelli, 1976) โดยเบตาไคตินจะเรียงตัวเป็นแผ่นซ้อนทับขนานกันและหันหน้าไปทางเดียวกันสามารถพบได้ในแกนหมึก ส่วนแอลฟาไคตินจะเรียงตัวเป็น

แผ่นเช่นเดียวกันเบตาแต่จะหันหน้าสวนทางกันในแต่ละแผ่นสามารถพบไคตินชนิดนี้ได้ในเปลือกของกุ้งและปู และโครงสร้างของแกมมาไคตินจะรวมทั้งเบตาและแอลฟาไคตินสลับกันไป (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

ไคโตซาน (poly(2-amino-2-deoxy-D-glucose) หรือ poly(N-glucosamine))คือรูปหนึ่งของไคตินที่มีปริมาณหมู่อะซิติลต่อโมเลกุลต่ำ ซึ่งทำให้ไคโตซานสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าไคตินที่ค่า pH เดียวกัน (Li และคณะ, 1997) และยังทำให้จำนวนของหมู่อะมิโน (-NH2) ซึ่งมีประจุบวกต่อโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ไคโตซานจึงเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นโมเลกุลประจุบวก (polycationic) และหากมีการลดลงของหมู่อะซิติลมากขึ้นจะทำให้เพิ่มคุณสมบัติความเป็นไคโตซานมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถเรียกไคโตซานที่มีระดับการลดลงแตกต่างกันได้ในหน่วย degree of deacetylation หรือ %DD คือร้อยละของหมู่อะซิติลที่ถูกกำจัดไป %DD ที่พอได้ทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 70-95% (ปิยะบุตร วาณิชพงษ์พันธุ์ และ สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542) ปฏิกิริยาของไคโตซานเกิดจาก functional group 3 ตำแหน่งด้วยกันได้แก่หมู่อะมิโนที่คาร์บอนตำแหน่งที่สอง หมู่ไฮดรอกซิลแรกที่คาร์บอนตำแหน่งที่สาม และหมู่ไฮดรอกซิลที่สองที่คาร์บอนตำแหน่งที่หก การปรับเปลี่ยนไคโตซานที่ตำแหน่งเหล่านี้ทำให้ไคโตซานสามารถประยุกต์ใช้ได้ในหลายแนวทาง (Furusaki และคณะ, 1996)

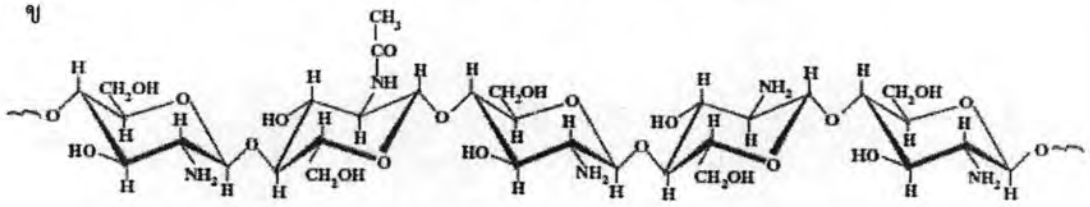
เปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลซึ่งมีการสลายช้ามากจึงมีการสะสมของเหลือทิ้งประเภทนี้เป็นอย่างมาก (Shahidi และ Synowiecki, 1991) ในประเทศอเมริกาของเหลือทิ้งนี้มีจำนวนถึง 50-90% จากจำนวนขยะที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Swanson, Dudly และ Williamson, 1980) ในปัจจุบันนี้จึงมีการนำของเหลือทิ้งนี้มาเพิ่มมูลค่าโดยการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่นเดียวกันกับในประเทศไทยที่มีการผลิตไคติน-ไคโตซานนี้มาเป็นเวลานานแล้ว และในช่วง 3-5 ปีที่ผ่านมานี้ ไคติน-ไคโตซานได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีผลงานวิจัยจำนวนมากรายงานถึงการประยุกต์ใช้ไคติน-ไคโตซานในด้านต่างๆ สารไคติน-ไคโตซานได้มีการประยุกต์และวางขายในท้องตลาดในรูปแบบของอาหารเสริม เครื่องสำอาง สารเสริมในด้านการเกษตร และด้านอื่น ๆ อีกมากมาย และยังรวมถึงในประเทศไทยอุดมไปด้วยวัตถุดิบในการผลิตไคติน-ไคโตซานทำให้เป็นการส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศไทยด้วย (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542)

ก



→4)-βD-GlcNAc-(1→4)-βD-GlcNAc-(1→4)-βD-GlcNAc-(1→

ข



→4)-βD-GlcN-(1→4)-βD-GlcNAc-(1→4)-βD-GlcN-(1→4)-βD-GlcN- (1→

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน (ก) และไคโตซาน (ข)

(Prashanth และ Tharanathan, 2007)

2.2 การผลิตไคโตซาน

2.2.2.1 กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination)

ในการผลิตไคติน-ไคโตซาน จากเปลือกกุ้ง กระดองปูจำเป็นต้องมีการกำจัดโปรตีนออกเสียก่อน ส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) เป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งนอกจากโปรตีนแล้วไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกกำจัดออกไปได้ด้วย

2.2.2.2 กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (Demineralization)

นำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งจะเป็นการกำจัดสารพวกหินปูน ($CaCO_3$) ออกไป รงควัตถุและโปรตีนบางตัวที่เหลืออยู่ก็ถูกกำจัดออกไปด้วย ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ไคตินบริสุทธิ์

2.2.2.3 กระบวนการกำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation)

ทำการต้มไคตินที่ได้หลังการกำจัดเกลือแร่ที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ด่าง เช่น NaOH ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 40% (w/v) ขึ้นไป จะทำให้ได้ไคโตซานที่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซีติก (CH_3COOH) กรดโพรพิโอนิก (CH_3CH_2COOH) กรดแลกติก (CH3CH2CH(OH)COOH) และกรดบิวทีริก ($CH_3CH_2CH_2COOH$) เป็นต้น

(สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2542 อ้างถึงใน พานิยา พรเพียรภักดี, 2550)

2.3 บทบาทของไคติน-ไคโตซานในด้านต่างๆ

ทางด้านการแพทย์นั้นไคติน-ไคโตซานถูกนำมาใช้เป็นยาในการรักษาโรคโดยกระตุ้นให้ร่างกายต่อสู้กับโรค เช่น N- และ O-sulfated chitosan ถูกนำไปใช้ในการสร้าง heparin-like blood anticoagulation ประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง และยังสามารถยับยั้งไม่ให้เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวแพร่กระจายในกระแสเลือดได้อีกด้วย (Muzzarelli, 1976) นอกจากนี้ไคติน-ไคโตซานยังสามารถกระตุ้นการสร้างกระดูกและการสร้างเนื้อเยื่อฟัน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2542) ไคติน-ไคโตซานยังใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุทางการแพทย์บางชนิดเช่น วัสดุปิดปากแผล วัสดุทำไตเทียมและผิวหนังเทียม ไหมละลายและเลนส์ตา และอนุพันธ์ของ carboxymethyl chitosan ในรูปของ hydrogel ถูกนำไปใช้ในการทำวัสดุรักษาและตกแต่งบาดแผล (Janvikul, Thavornyutikarn และ Uppanan, 2003) ยังมีรายงานอีกว่าไคติน-ไคโตซานยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดโรคในสิ่งมีชีวิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไคโตซานที่มีโมเลกุลของธาตุ Zn อยู่ด้วยจะทำให้มีประสิทธิภาพของการต้านทานต่อจุลชีพเหล่านี้สูงขึ้นถึง 8 เท่า (Wang, Du และ Li, 2004)

ส่วนทางด้านอาหารและยานั้นมีการกล่าวถึงเป็นอย่างมากเกี่ยวกับใช้สารไคติน-ไคโตซานในการลดน้ำหนัก ลดปริมาณคลอเรสเตอรอล กรดยูริกและกรดยูเรียที่สะสมในร่างกาย (Muzzarelli และ Vincenzi, 1997) นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมการทำน้ำผลไม้ยังใช้ไคติน-ไคโตซานเข้ามาเพื่อช่วยปรับปรุงรสชาติให้ดียิ่งขึ้น โดยไคติน-ไคโตซานซึ่งมีคุณสมบัติเป็นประจุบวกสามารถใช้ปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำผลไม้ได้โดยที่ไม่เป็นอัตรายและไม่เพิ่มไอออนที่เป็นพิษต่อผู้บริโภค เช่น ในการทำน้ำองุ่น (Imeri และ Knorr, 1988) และแอปเปิ้ล (Perlata, Muller และ Knorr, 1989) ไคโตซานยังเป็นส่วนผสมของยาหลายชนิดโดยไคโตซานมีคุณสมบัติช่วยให้ยามีความสามารถละลายได้เร็วขึ้น (Phaechamud, 2003) และช่วยเคลือบยาชนิดเม็ดได้ (Phaechamud, Koizumi และ Ritthidej, 2003) ไคติน-ไคโตซานยังมีบทบาทสำคัญหลายประการในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ เช่น ทำโลชั่นบำรุงผิว (เรวดี มีสัตย์, หทัยรัตน์ ริมคีรี, และธงชัย สุวรรณสิชฌน์, 2546) สำหรับในทางอาหารสัตว์พบว่า ไคติน-ไคโตซานถูกนำไปใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของสุกร (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2543) และยังใช้เป็นตัวเสริมอาหารแก่ไก่เนื้ออีกด้วย (สุดีพ ไชยมณี, สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์, และบุญล้อม วีวะอิสระกุล, 2546)

ไคติน-ไคโตซานถูกนำมาใช้ในการจัดการโลหะหนักชนิดต่างๆ และผลผลิตที่เป็นพิษที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น รวมถึงตะกอนต่างๆที่ได้จากการทำอุตสาหกรรม (Muzzarelli, 1976) ในการบำบัดน้ำเสียด้วยไคติน-ไคโตซานนั้นได้มีผู้ทดลองนำไคตินไปใช้เก็บโลหะเงินจากน้ำทิ้งในกระบวนการอัดภาพ (Songkroah, Thiravetya และ Nakbanpote, 2003) ใช้เกล็ดไคโตซานที่ได้จากเปลือกกุ้งในการกำจัดสารตะกั่วและสารปรอทในน้ำเสีย (จารุรัตน์ เชาว์เลิศ และ ขันทอง สุนทรา

ภา, 2546) ใช้ไคโตซานพอรัสบีดในการกำจัดโลหะหนักมาตรฐาน สังกะสี และแคดเมียม (นิรันดร์ สัพพวิญญู และ ปิยะบุตร วาณิชพงศ์พันธุ์, 2546) และใช้ไคโตซานในการบำบัดน้ำล้างฟิล์มเอกซเรย์ (บังอร ลือภักดีสกุล, ละเอียด เพ็งโสภา และ ปิยะบุตร วาณิชพงศ์พันธุ์, 2546) นอกจากนี้ยังมีการใช้ไคโตซานในการเจือจางสีของน้ำเสียที่ได้จากโรงงานผลิตยาง (Trung, How และ Stevens, 2003) ดูดซับสีขมิ้นจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเครื่องหอม (วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน และคณะ, 2546) กำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม (นัยนันทน์ อริยกานนท์, กัญญาภรณ์ คมคาย และ วัจนา ประจงมูล, 2546) และใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานที่ผลิตกรดมะนาว (สายรุ้ง เทพกรรณ์ และคณะ, 2546)

2.4 ผลของไคติน-ไคโตซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช

นอกจากการนำไคติน-ไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆตามข้อ 2.3 แล้วไคติน-ไคโตซานยังได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการเกษตรกรรมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เห็นได้จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของไคติน-ไคโตซานในด้านนี้เป็นจำนวนมาก เช่น การใช้ไคโตซานช่วยในกระบวนการงอกของเมล็ด (Wongchai และคณะ, 2004) หรือเร่งการเจริญเติบโตและให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น (สถิต พูลทรัพย์, 2543) ทั้งนี้การตอบสนองของพืชต่อไคโตซานก็จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดและความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ รวมถึงวิธีการให้ไคโตซานและกระบวนการเพาะปลูกอีกด้วย

กล้วยไม้เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาถึงการตอบสนองต่อไคโตซานอย่างมากมาย Limpanavetch และคณะ (2004) พบว่าไคโตซานสามารถชักนำให้เกิดการสร้างดอกในกล้วยไม้สกุลหวายได้ โดยการพ่นไคโตซานทั้งชนิดโอลิโกเมอร์และโพลิเมอร์ที่มีค่า degree of deacetylation เท่ากับ 70, 80 และ 90% ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าไคโตซานมีผลช่วยกระตุ้นให้กล้วยไม้มีจำนวนดอกต่อช่อเพิ่มมากขึ้นและยังพบว่ากล้วยไม้ที่ได้รับไคโตซานทุกชนิดและทุกความเข้มข้นมีการออกดอกเร็วกว่าในกล้วยไม้ที่ไม่ได้รับไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานยังมีสามารถประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้โดยการเติมไคโตซานในอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อชนิดเหลวนั้นพบว่ามีผลให้มีการเพิ่มจำนวนโพรโทคอร์มในกล้วยไม้เอื้องเงินหลวงได้อีกด้วย (พัชรา ลิมปนะเวช, 2548) และโพรโทคอร์มที่ได้รับไคโตซานยังมีน้ำหนักสดสูงอีกด้วย และในระหว่างการย้ายปลูกนั้นพบว่าหากแช่กล้ากล้วยไม้รองเท้านารีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อก่อนนำไปย้ายปลูกร่วมกับการพ่นไคโตซานทางใบทุกๆ 7 วันเป็นเวลา 2 เดือน จะทำให้กล้ากล้วยไม้สามารถงอกราก สร้างใบใหม่และมีขนาดใบที่ใหญ่และยาวขึ้น และยังมีอัตราการรอดชีวิตจากการย้ายปลูกเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าในกล้วยไม้ที่ไม่ได้รับไคโตซานอีกด้วย (ชนัสพร เกลี้ยงแก้ว, สุวลี จันทร์กระจ่าง และ พัลภา เศวตศิลา, 2546) ไคโตซานที่ได้รับจากแหล่งผลิต

แตกต่างกันจะมีให้ผลต่อพืชชนิดเดียวกันต่างกันด้วย โดยไคโตซานที่ได้จากรานั้นจะมีผลทำให้จำนวนโพรโทคอร์มรวมถึงน้ำหนักสดของโพรโทคอร์มนั้นมีค่าสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้งหรือกระดองปู (สุวลี จันทร์กระจ่าง และ คิน เล งี, 2547) นอกจากไคโตซานจะสามารถใช้ได้ผลดีกับพืชดอกแล้วไคโตซานยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผักอีกด้วย เช่น ในคะน้าและพริก พบว่าการฉีดพ่นไคโตซานทุกสัปดาห์เป็นเวลา 2 เดือนทำให้น้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้นของผลผลิตคะน้าสูงกว่าคะน้าที่ไม่ได้รับไคโตซาน และยังช่วยให้ต้นพริกสูงกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซานเช่นกัน (สุวลี จันทร์กระจ่าง, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ สมชาย ด่วนต่าย,2546)

ไคโตซานยังมีผลต่อการเปิด-ปิดปากใบของพืชด้วยโดย Lee และคณะ (1999) พบว่ามะเขือเทศที่ได้รับไคโตซานที่สกัดจากผนังเซลล์ของเชื้อราสามารถกระตุ้นให้ปากใบปิดแคบลงเหลือเพียงประมาณ 60% ซึ่งแคบกว่าในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อศึกษาด้วยวิธี microphotography แล้วพบว่าการปิดแคบลงของปากใบนี้เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์รอกไซด์ในเซลล์คุม ซึ่งจะเห็นได้ชัดหลังจากได้รับเป็นเวลา 30 นาที โดยเฉพาะบริเวณที่มีคลอโรพลาสต์หนาแน่นมาก ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์รอกไซด์ก็จะเพิ่มสูงขึ้นมากที่บริเวณนั้นด้วย ผลของการเพิ่มขึ้นของไฮโดรเจนเปอร์รอกไซด์นี้มีผลต่อระดับแคลเซียมไอออนที่จะเพิ่มสูงขึ้นมาในเซลล์ทำให้แรงดันเต่งภายในเซลล์คุมลดลงปากใบจึงปิดแคบลงได้ (Mcainsh และคณะ, 1996) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการให้ไคโตซานทางใบแก่ต้นพริกทำให้ต้นพริกที่ได้รับไคโตซานมีการลดการคายน้ำได้ถึง 26-43% ส่งผลให้สามารถลดการให้น้ำระหว่างการเพาะปลูกได้ และเมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแล้วพบว่าไคโตซานกระตุ้นการปิดของปากใบโดยการยับยั้งการสะสมของโพแทสเซียมไอออนในเซลล์คุม ทำให้กลไกการควบคุม osmotic pressure เปลี่ยนไปจึงทำให้ปากใบปิดและลดการคายน้ำในที่สุด (Bittelli และคณะ, 2001)

บทบาทที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของไคโตซานคือการใช้ไคโตซานในการยับยั้งและต้านทานจุลชีพก่อโรคในพืช ตามปกติแล้วพืชจะมีระบบการป้องกันตัวเองจากสภาวะภายนอกที่ไม่เหมาะสม อาจเป็นการสร้างเอนไซม์หรือสารเคมีออกมาต่อต้านจุลชีพนั้นๆ เช่น การสร้างเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารทุติยภูมิในกลุ่มสารประกอบฟีนอล เช่น lignin และ phytoalexin (Smith, 1996) มีงานวิจัยหลายงานยืนยันว่าไคติน-ไคโตซานสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบการป้องกันตัวเองของพืชได้ โดยเซลล์พืชที่ได้รับไคติน-ไคโตซานจะสร้างเอนไซม์ไคติเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนส ออกมาย่อยเชื้อราไม่ให้รุกรานเข้าสู่เซลล์ได้ (Hirano และคณะ, 1991; Muzzarelli, 1976) อย่างไรก็ตามการที่ไคติน-ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น elicitor นี้ขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นและชนิดของไคโตซานที่ใช้ ชนิดและอายุของพืช และชนิดของจุลชีพก่อโรคนั้นๆด้วย จากการศึกษาความสามารถในการเป็น elicitor ของไคตินและไคโตซานในข้าวสาลีพบว่าการฉีดไคตินหรือไคโตซานเข้าไปในส่วนของ intracellular space ของใบข้าวสาลีที่

ปลอดโรคและไม่มีบาดแผล ทำให้กระตุ้นให้ใบข้าวสาลีมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์ peroxidase และ phenylalanine ammonia lyase สูงขึ้น (Vander และคณะ, 1998) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของไคติน-ไคโตซานที่มีต่อการสร้างลิกนินหลังจากเนื้อเยื่อใบเกิดบาดแผลในข้าวสาลี พบว่าเมื่อให้ไคโตซานที่ได้จากเปลือกอยู่ที่อยู่ในรูป chitooligosaccharide สามารถชักนำให้เกิดการสร้างลิกนินตรงบริเวณขอบของในข้าวสาลีที่เกิดแผล และการให้ไคโตซานแก่ใบข้าวสาลีที่ยังไม่เกิดแผลก็สามารถชักนำให้ข้าวสาลีมีปริมาณลิกนินเพิ่มมากขึ้นได้ด้วยเช่นกัน (Barber, Bertram และ Ride, 1989)

การกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวเองของพืชโดยใช้ไคโตซานอาจเกิดผ่านทาง octadecanoid pathway ได้โดยการศึกษาในมะเขือเทศพันธุ์ Castlemart พบว่าการให้ไคโตซานสามารถกระตุ้นให้ใบสดของมะเขือเทศมีปริมาณ protease inhibitors I สูงขึ้น ในขณะเดียวกันไคโตซานยังกระตุ้นให้เกิดการสร้าง jasmonic acid สูงกว่าเซลล์ปกติถึง 2-3 เท่าภายในเวลาเพียง 2 ชั่วโมง ซึ่งคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงของมะเขือเทศที่ได้รับบาดแผล (Doares และคณะ, 1995) นอกจากนี้ไคโตซานยังทำให้เกิด systemic resistance ในต้นมะเขือเทศได้จากรายงานการใช้ไคโตซานที่ได้จากไคตินของกระดองปูเคลือบเมล็ดและผสมร่วมกับอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่ามะเขือเทศที่ได้รับไคโตซานสามารถลดความรุนแรงที่เกิดจากเชื้อ *Furasium oxysporum* โดยเห็นได้จากมะเขือเทศที่ได้รับไคโตซานจะมีระบบรากและการยืดยาวของรากดีกว่าในมะเขือเทศที่ไม่ได้รับไคโตซาน และสามารถยับยั้งไม่ให้เส้นใยของเชื้อราลุกลามไปตามเนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำและอาหารได้ด้วย นอกจากนี้เซลล์ vascular parenchyma ของรากจะมีการสร้างสารประกอบฟีนอลมากขึ้น และเพิ่มความหนาของผนังเซลล์โดยการสร้างโครงสร้าง electron-lucent layer มีผลทำให้เชื้อราไม่สามารถแทงเส้นใยเข้าไปในเซลล์ของรากได้ แสดงให้เห็นว่าการได้รับไคโตซานสามารถกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวของรากมะเขือเทศ ซึ่งช่วยปกป้องไม่ให้ได้รับอันตรายจากการรุกรานของเชื้อราที่ก่อโรคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (Benhamou, Lafontaine และ Nicole,1994)

มีผู้ทดลองใช้ไคโตซานในรูปเจลหรือเรียกว่า ไคโตเจล (chitogel) ผสมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในการเลี้ยงตาองุ่นพบว่าการใช้ไคโตเจลที่ความเข้มข้น 1.75% นั้นชักนำให้ยอดองุ่นในหลอดทดลองยืดยาวมากที่สุดต่างจากชุดที่ไม่ได้รับไคโตซาน และรายังมีการเจริญเติบโตดีแตกแขนงมากกว่าปกติ มีจำนวนข้อ น้ำหนักแห้งของยอดและรากมากกว่าในกลุ่มควบคุมด้วยเช่นกัน แต่การให้ไคโตเจลที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้นั้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตขององุ่นลดลงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม และยังพบอีกว่าไคโตเจลสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงโดยสามารถผลิตก๊าซออกซิเจนและตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าองุ่นในชุดควบคุม (Barka และคณะ, 2004) และการผสมไคโตเจลลงในอาหารเลี้ยงเชื้อราโดยตรง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้กว่า 64% จากการศึกษายังพบอีกว่าไคโตซานมีผลทำให้โครงสร้างภายในของเชื้อรามีการ

เปลี่ยนแปลง เช่น เกิน coagulation ของไซโทพลาสซึม หรือการเกิด vesicle ที่ทีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วเซลล์ หรือในบางเซลล์ไม่พบว่ามีไซโทพลาสซึมอยู่เลย (Barka และคณะ, 2004) นอกจากนี้ไคโตซานยังมีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตกหัก มีการหายไปของ protoplasm และมีจำนวนของ vacuole เพิ่มมากขึ้นด้วย (Laflamme และคณะ, 1999)

2.5 บทบาทของไคโตซานในการยืดอายุการเก็บรักษาพืชหลังการเก็บเกี่ยว

จากการที่ไคโตซานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาบางประการของพืชทำให้มีผู้สนใจศึกษาการใช้ไคโตซานในการรักษาคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวของพืชอย่างแพร่หลายและพบว่าไคโตซานมีสามารถยืดอายุผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยไคโตซานจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชหลังการเก็บเกี่ยวหลายประการเช่น การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใย การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด การเกิดโรค และการเกิดสีน้ำตาล (สถิต พูลทรัพย์, 2543)

ไคโตซานสามารถรักษาคุณภาพของผลผลิตเมื่อดูจากภายนอกได้ โดยจากการศึกษาผลของการให้ไคโตซานแก่ส้มสายพันธุ์ Murcott tangor พบว่าการจุ่มส้มในไคโตซานชนิดมวลโมเลกุลต่ำ (น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15.1±0.2 kDa) ความเข้มข้น 0.1% สามารถยับยั้งการเน่าเสียของผลส้มได้และได้ผลดีกว่าผลส้มที่จุ่มในไคโตซานชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 357±39 kDa) นอกจากนี้การจุ่มในไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้ยังช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสด และการจุ่มไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ความเข้มข้น 0.2% สามารถรักษาความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วิตามินซี และปริมาณน้ำในผลส้มได้อีกด้วย จากการทดลองนี้พบว่าการใช้ไคโตซานชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำนั้นสามารถรักษาคุณภาพของระหว่างการเก็บรักษาของผลส้มได้ (Chien, Sheu และ Lin, 2007) ยังมีผู้ศึกษาการใช้ไคโตซานร่วมกับสารเคมีชนิดอื่นๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุพืชหลังการเก็บเกี่ยวอีกโดยการศึกษาการใช้ไคโตซานควบคู่กับแคลเซียมในสตรอเบอรี่ลูกผสมระหว่าง *Fragaria* และ *Ananassa* พบว่าการผลสตรอเบอรี่ที่ใช้ไคโตซานร่วมกับแคลเซียมนั้นสามารถรักษาน้ำหนักสดได้ดีกว่าในผลสตรอเบอรี่ที่ได้รับแคลเซียมเพียงอย่างเดียวหรือไม่ได้รับสารใดๆเลย การสูญเสียน้ำหนักสดของพืชผักและผลนี้มีสาเหตุหลักมาจากการสูญเสียน้ำจากการแลกเปลี่ยนก๊าซหรือการคายน้ำซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการหายใจ เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้ออันเกิดมาจากแรงดันเต่งและความแข็งแรงของผนังเซลล์ (Harker และคณะ, 1997) พบว่าการใช้ไคโตซานควบคู่กับแคลเซียมนี้ก็สามารถลดการสูญเสียความแน่นเนื้อได้เช่นกัน โดยไคโตซานจะแสดงผลคล้ายเยื่อเลือกผ่านที่จะควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างเซลล์กับบรรยากาศ เมื่อมีปริมาณออกซิเจนในเซลล์ต่ำขั้นตอนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนใน

กระบวนการหายใจจะถูกยับยั้ง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ทำให้เซลล์มีระดับของการหายใจลดลงจึงทำให้มีลดการสูญเสียน้ำและส่งผลให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่งในเซลล์ซึ่งทำให้เซลล์ยังคงรูปร่างไว้ได้ในที่สุด และไคโตซานยังมีผลให้ลดการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดเส้นใยสะสมในพืชและทำให้พืชผลนั้นๆมีความเหนียวเพิ่มขึ้นได้ (Pen และ Jiang, 2003) นอกจากนี้ไคโตซานร่วมกับแคลเซียมยังสามารถรักษาค่าความสว่างและค่าสีแดงของผลสตรอเบอรี่ได้ (Muñoz และคณะ, 2006) สอดคล้องกับการใช้ไคโตซานควบคู่กับ 1-methylcyclopropene ตามปกติแล้ว 1-methylcyclopropene นี้จะมีผลยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซเอทิลีน เมื่อพ่นผลพุทราอินเดียด้วย 1-methylcyclopropene แล้วตามด้วยการจุ่มในไคโตซานพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลพุทราได้ดีกว่าการใช้สารเคมีอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวและดีกว่าในชุดการทดลองควบคุมด้วย เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจแล้วพบว่าการใช้ไคโตซานและ 1-methylcyclopropene เพียงอย่างเดียวนั้นมีช่วยลดอัตราการหายใจเช่นเดียวกับการใช้ไคโตซานควบคู่กับ 1-methylcyclopropene นอกจากนี้การใช้สารเคมีทั้งสองอย่างควบคู่กันนี้ยังมีผลยับยั้งการผลิตก๊าซเอทิลีนของผลพุทรา ซึ่งแตกต่างกันกับในผลพุทราที่ได้รับ 1-methylcyclopropene เพียงอย่างเดียวที่มีค่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเอทิลีนเยอะกว่า ถึงแม้ว่าการใช้ไคโตซานหรือ 1-methylcyclopropene เพียงอย่างเดียวสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดและการลดการสูญเสียความแน่นเนื้อได้ดีกว่าการใช้ไคโตซานควบคู่กับ 1-methylcyclopropene อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาการทำงานของเอนไซม์ polygalacturonase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการลดการสูญเสียความแน่นเนื้อโดยการใช้ไคโตซานเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดการทำงานของเอนไซม์นี้ลงได้ แต่การใช้ไคโตซานควบคู่กับ 1-methylcyclopropene หรือการใช้ 1-methylcyclopropene เพียงอย่างเดียวสามารถลดการทำงานของเอนไซม์ลงได้ (Qiuping และ Wenshui, 2007) และยังพบอีกว่าไคโตซานสามารถรักษาคุณภาพของผลมะม่วงและแก้วมังกรที่ผ่านการปอกเปลือกและตัดเป็นชิ้นๆได้โดยไม่ทำให้สูญเสียรสชาติเดิมไป การเคลือบชิ้นของผลด้วยไคโตซานมีผลทำให้น้ำหนักสดและปริมาณน้ำไม่สูญหายไปจากชิ้นนั้นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสีภายนอก สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ และยังช่วยลดการติดเชื้อราจากสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย (Chien, Sheu และ Yang, 2007; Chien, Sheu และ Lin, 2007)

นอกจากไคโตซานจะมีผลต่อการลดความรุนแรงของโรคที่เกิดจากจุลชีพก่อโรคขณะที่กำลังเพาะปลูกได้แล้วนั้น ยังสามารถใช้ไคโตซานในการยับยั้งการเกิดโรคในผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น ผลของไคโตซานต่อการลดความรุนแรงของการติดเชื้อรา *Botrytis cinerea* ในผลองุ่น พบว่าผลองุ่นที่ได้รับเชื้อราดังกล่าวจากการพ่นแล้วตามด้วยการจุ่มในไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% สามารถยับยั้งการติดเชื้อได้ดีที่สุดโดยดูจากร้อยละของผลที่ติดเชื้อซึ่งมีเพียงประมาณ 10% เมื่อเทียบกับในชุดการทดลองควบคุมที่ติดเชื้อ 100% และเมื่อให้คะแนนความรุนแรงของโรคที่เกิดขึ้นแล้วพบว่าผลองุ่นที่ได้รับไคโตซานมีคะแนนความรุนแรงของโรคต่ำว่าใน

ชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (Romanazzi, Karabulut และ Smilanick, 2007) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลของการให้ไคโตซานความเข้มข้น 1% ควบคู่กับการควบคุมความดันที่ 0.25, 0.50 และ 1.00 atm ในผลเชอรี่ พบว่าการใช้ไคโตซานร่วมกับการเปลี่ยนแปลงความดันทุกชุดการทดลองสามารถลดการติดเชื้อก่อโรคทั้ง 3 ชนิดได้แก่ brown rot, gray mould และการเน่าที่เกิดปกติได้ การใช้ไคโตซานเพียงอย่างเดียวนั้นมีผลยับยั้งได้เช่นกันแต่ได้ผลดีน้อยกว่าที่ควบคู่กับการควบคุมความดัน (Romanazzi, Nigro และ Ippolito, 2003) การที่ไคโตซานมีผลต่อการยังยั้งการติดเชื้อนี้มาจากคุณสมบัติการเป็นสารต้านเชื้อราและสารกระตุ้นระบบป้องกันตัวเองของพืช และในการศึกษาในหลอดทดลองไคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อหลายชนิดที่ก่อโรคในผักและผลไม้ได้โดยตรงเลยเช่นกัน (Allan และ Hadwiger, 1979) นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ไคติเนสและ β-1,3-glucanase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของเชื้อราได้ในผลส้ม ผลสตรอเบอรี่และผลราสเบอรี่ได้อีกด้วย (Fajardo และคณะ, 1998; Zhang และ Quantick, 1998)

ความเสียหายอันเนื่องมาจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวของพืชหลายชนิดนั้นสามารถชักนำให้เกิดสีน้ำตาลในพืชผักและผลซึ่งจะส่งผลให้มูลค่าของผลผลิตนั้นๆต่ำลง ปัจจัยของกระบวนการเกิดสีน้ำตาลนี้มีปลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ปริมาณของสารประกอบฟีนอล เอนไซม์ peroxidase และเอนไซม์ polyphenoloxidase สารเหล่านี้ล้วนมีผลต่อรสชาติของพืชผลนั้นๆด้วย (Lattanzio, Cardinali และ Palmieri, 1994) เอนไซม์ polyphenoloxidase มีหน้าที่ต่อสายของ *o*-quinones ซึ่งสายของ *o*-quinones จะส่งผลให้พืชผลมีสีเข้มขึ้นและไม่น่ารับประทาน (Mayer และ Harel, 1979; Vigyazo, 1981) การลดการทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidase นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ พบว่าการแช่ผลแห้วในไคโตซานที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้ลดการทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidase มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลได้อีกด้วย (Pen และ Jiang, 2003) การทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidase ในเปลือกลำไยหลังการเก็บเกี่ยวมีการลดลงหลังจากเก็บรักษานาน 10 วันและหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยลำไยที่ผ่านการแช่ในไคโตซานที่ความเข้มข้น 2% มีระดับการทำงานของเอนไซม์นี้ต่ำที่สุดน้อยกว่าชุดการทดลองควบคุมถึง 2 เท่า (Jiang และ Li, 2001) ผลการทดลองนี้คล้ายกับในลิ้นจี่โดยที่ความเข้มข้นของไคโตซานที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะลดการทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidase รวมถึงเอนไซม์ peroxidase มากขึ้นด้วย (Dong และคณะ, 2004) นอกจากนี้ Zhang และ Quantick (1997) รายงานว่าไคโตซานมีผลลดการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเข้ม ลดปริมาณของ flavanoid และสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสี ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าไคโตซานสามารถรักษาสีของพืชผลให้คงสีที่ผู้บริโภคต้องการไว้ได้