บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ประวัติและพันธุ์

มะนาวเป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* Swingle มีชื่อสามัญว่า lime อยู่ในตระกูล Rutaceae (สมศักดิ์, 2538) กลุ่มบัณฑิตเกษตรอาสา (2539) รายงานว่า มะนาวเป็นพืชพื้นเมืองแถบร้อนและกึ่งร้อนของเอเชียทางแถบตอนใต้ของ จีน อินเดีย และแถบมาเลเซีย และได้กระจายพันธุ์เข้าสู่แผ่นดินใหญ่แถบทวีปเอเชียภายหลัง มะนาวได้รับความสนใจจากชาวยุโรปในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 13 โดยชาวอาหรับเป็นผู้นำมะนาวจากประเทศอินเดียไปปลูกในปาเลสไตน์ อีหร่าน อียิปต์ และยุโรป หลังจากนั้นก็กระจายพันธุ์จากยุโรปไปยังหมู่เกาะอินดีสตะวันตกและทวีปอเมริกาในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 16 โดยนักสำรวจชาวสเปนและโปรตุเกสเป็นผู้นำไปปลูก โดยทั่วไปมะนาวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีรสเปรี้ยว ได้แก่ มะนาวพื้นบ้าน มะนาวเม็กซิกัน มะนาวไทย และมะนาวตาฮิติ กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีรสหวาน ได้แก่ พันธุ์ปาเลสไตน์สวีท ซึ่งนิยมปลูกในประเทศอินเดีย อียิปต์ และแถบอเมริกา มะนาวที่พบในประเทศไทยเป็นกลุ่มของมะนาวรสเปรี้ยวซึ่งมีอยู่หลายพันธุ์ ได้แก่ มะนาวหนัง มะนาวไข่ มะนาวแป้น มะนาวโมพี มะนาวพม่า มะนาวเตี้ย มะนาวปีนัง และมะนาวตาฮิติ สำหรับพันธุ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกในปัจจุบันมีอยู่ 3 พันธุ์ คือ มะนาวหนัง มะนาวไข่ และมะนาวแป้น ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะ ดังนี้

มะนาวหนัง เป็นพันธุ์ที่ปลูกตามพื้นบ้าน ลักษณะผลใหญ่ ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลม เมื่อผลโตเต็มที่จะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาว ด้านหัวมีจุกเล็กๆ ผิวเรียบ เปลือกหนา รสเปรี้ยวจัดเพราะมีเปอร์เซ็นต์กรดสูง น้ำมีกลิ่นหอม นิยมนำไปทำเครื่องดื่ม

มะนาวไข่ เป็นพันธุ์ที่มีขนาดและลักษณะคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ติดผลดก ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาว หัวท้ายแหลม ผลกลมแป้น หัวและก้นมีจุกไม่แหลม ผิวเรียบ เปลือกบางใส ผลใหญ่กว่ามะนาวหนัง มีน้ำมาก มีเมล็ดน้อย

มะนาวแป้น เป็นพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเมล็ดมะนาวพื้นบ้าน แล้วมีการกลายพันธุ์ไปจนได้ลักษณะที่ดี เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด เพราะให้ผลดกและออกผลได้ตลอดปี ผลมีขนาดปานกลาง ทรงผลแป้น เปลือกบางใส มีสีเขียวอมเหลือง มีน้ำมาก ไม่ค่อยมีเมล็ด

2.2 ปัญหาของมะนาว

1. ปัญหาราคา

ตั้งแต่ช่วงเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนกันยายนของทุกปี จะเป็นช่วงที่มะนาวมีปัญหาด้านการตลาดเนื่องจากราคาตกต่ำเป็นประจำทุกปี เพราะผลผลิตที่มีมากเกินความต้องการของตลาดโดยราคารับซื้อจากสวนเหลือเพียงผลละ 20-80 สตางค์ แต่ราคามะนาวจะสูงขึ้นมากในช่วงฤดูแล้งเพราะผลผลิตออกสู่ตลาดน้อยซึ่งราคารับซื้อจากสวนสูงถึงประมาณผลละ 2-3 บาท ในขณะที่ราคาขายตามท้องตลาดเพิ่มขึ้นถึงผลละ 5-7 บาท (นิรนาม, 2542) มาตรการต่างๆ ที่รัฐบาลนำเข้ามาแก้ไขปัญหานอกเหนือจากการเข้าแทรกแซงราคา การส่งเสริมการผลิตมะนาวนอกฤดู และการส่งเสริมการแปรรูปมะนาวแล้ว การเก็บรักษาผลมะนาวสดในห้องเย็นก็น่าจะเป็นมาตรการหนึ่งที่ใช้แก้ไขปัญหาได้

2. ปัญหาช่วงหลังการเก็บเกี่ยว

มะนาวเป็นไม้ผลชนิด non-climacteric fruit ซึ่งมีอัตราการหายใจ และการสังเคราะห์เอทธิลีนค่อนข้างคงที่ในระหว่างการแก่จนถึงสุก จึงจัดเป็นพืชที่มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนต่ำ (Kader *et al.*, 1985) อย่างไรก็ดี ปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลมะนาวมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้นคือ การเน่าเสียของผลเนื่องจากเชื้อโรค การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิว และการลดลงของปริมาณวิตามินซี

การเน่าเสียของผลเนื่องจากเชื้อโรค ซึ่ง ดารา (2520) รายงานว่า โรคที่พบระหว่างการเก็บรักษาผลมะนาว ได้แก่โรค stem-end rot เกิดจากเชื้อ *Diplodia natalensis* Pole-Evans โดยเชื้อจะเข้าทำลายทางขั้วผลหรือรอยแผล เริ่มแรกขั้วผลจะกลายเป็นสีน้ำตาลดำแล้วลามเข้าไปยังแกนข้างในผลและผิวเปลือกด้านใน ส่วนไส้กลางโดยเฉพาะบริเวณใกล้ขั้วผลจะมีสีน้ำตาล ชุ่มน้ำ และนิ่ม สีที่เน่าภายในผลจะเป็นสีน้ำตาลถึงดำ ต่อมาสีที่เปลือกนอกของผลจะกลายเป็นสีน้ำตาลทึบ และโรค Alternaria rot เกิดจากเชื้อ *Alternaria citri* Ellis & Pierce อาการของโรคเริ่มจากผิวเปลือกเป็นสีเหลืองเข้มจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาล แผลจะลามไปได้ทั้งผล กดดูภายในผลจะรู้สึกหยุ่นๆ เนื้อเยื่อภายในจะชุ่มน้ำและนิ่ม สำหรับเชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคในกลุ่มของมะนาวฝรั่ง (lemon) ได้แก่เชื้อ *Penicillium digitatum* และ *Penicillium italicum* ซึ่งการควบคุมเชื้อดังกล่าว Bus *et al.* (1991) รายงานว่า การใช้สาร imazalil 0.5 mg/l ให้ผลในการควบคุมเชื้อ *P. digitatum* และ *P. italicum* ในกลุ่มของมะนาวดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มส้ม mandarins (*Citrus reticulata*), oranges (*C. sinensis*) และ grapefruit (*C. paradisi*) นอกจากนี้ Smilanick (1996) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมเชื้อโดยชีววิธีโดยใช้เชื้อ *Pseudomonas syrinagae* strains ESC-10, ESC-11 และ strains 485-10 ควบคุมเชื้อ *P. digitatum* ในกลุ่มส้ม (citrus fruit) พบว่า การใช้เชื้อ *Pseudomonas syrinagae* strains

ESC-11 สามารถยับยั้งและควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อ *P. digitatum* ได้ดีที่สุด และส่งผลกระทบทางด้านสรีรวิทยาของผลน้อยที่สุด

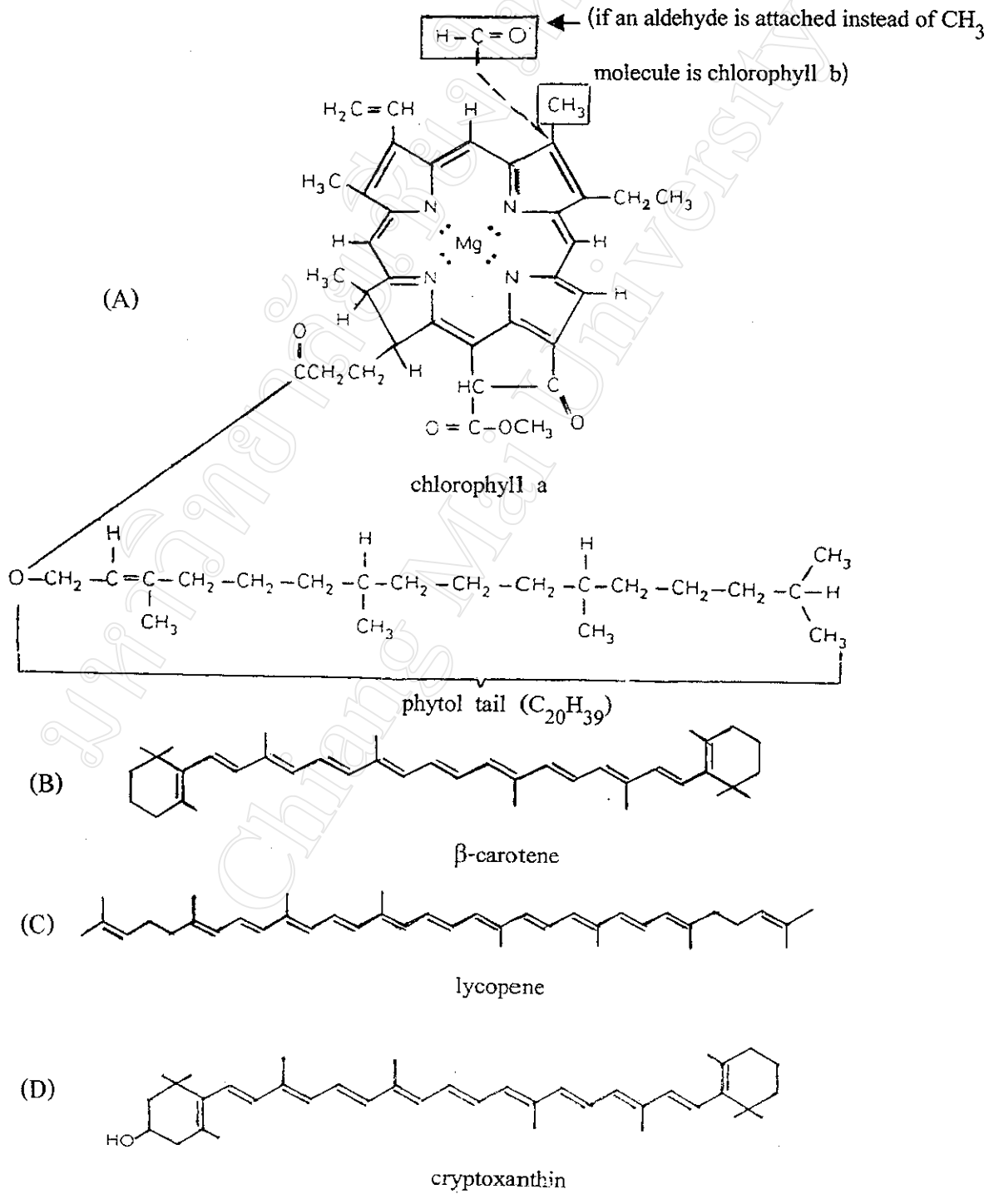
การสูญเสียน้ำหนัก พืชและผลิตผลสดต่างๆ ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะเดียวกันปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลาถึงแม้ผลิตผลจะมีเนื้อเยื่อโครงสร้างต่างๆ ที่ป้องกันการระเหยของน้ำ ได้แก่ชั้นของ epidermis รวมทั้งไข (wax) และ cutin ที่เคลือบผิวอยู่ แต่ผลิตผลก็จำเป็นต้องมีช่องเปิดต่างๆ เช่น stomata และ lenticel เพื่อถ่ายเทอากาศนำเอาออกซิเจนเข้าไปสำหรับการหายใจและระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลนอกจากจะทำให้น้ำหนักที่ขายได้ลดลงแล้ว ยังทำให้รสชาติของผลิตผลลดลงด้วยโดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (texture) และยังทำให้ผิวเหี่ยวย่นไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค (จริงแท้, 2541) อัตราการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น โครงสร้างของผักและผลไม้ พื้นที่ผิวซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของผักและผลไม้นั้นๆ ปริมาณสารประกอบคล้ายขี้ผึ้งที่เคลือบผิว การมีบาดแผลของผักหรือผลไม้ อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง การเคลื่อนที่ของอากาศในห้องเก็บและความดันบรรยากาศในการเก็บรักษาเป็นสำคัญ (สินธนา, 2541)

การเปลี่ยนแปลงสีผิว สีต่าง ๆ ของผลิตผลที่พบเกิดจากรงควัตถุที่มีอยู่ในเซลล์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ละลายในน้ำ (water soluble) พบใน แวคคิวโอล ได้แก่ แอนโทไซยานินชนิดต่างๆ และพวกที่ละลายในไขมัน (lipid soluble) พบใน plastid มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น คลอโรฟีลล์ และคาโรทีนอยด์ สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้สีของผลิตผลเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบและปริมาณของสารสีเหล่านี้ สำหรับมะนาวไทยนั้นสีที่เปลือกผลประกอบด้วยรงควัตถุหลัก 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ คลอโรฟีลล์ และคาโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับที่พบในส้มและมะนาวฝรั่ง (Gross, 1987)

คลอโรฟีลล์ (chlorophylls) เป็นสารสีที่มีสีเขียว โมเลกุลของคลอโรฟีลล์ประกอบด้วยส่วนหัวที่มีอะตอมของแมกนีเซียมล้อมรอบด้วยวงแหวนของคาร์บอนและไนโตเจน (prophyrin ring) และส่วนหางที่เป็นโซ่ยาว (long chain) ของไฮโดรคาร์บอน เรียกว่า phytol tail ดังแสดงในภาพที่ 1A (Salisbury and Ross, 1985; Gross, 1987)

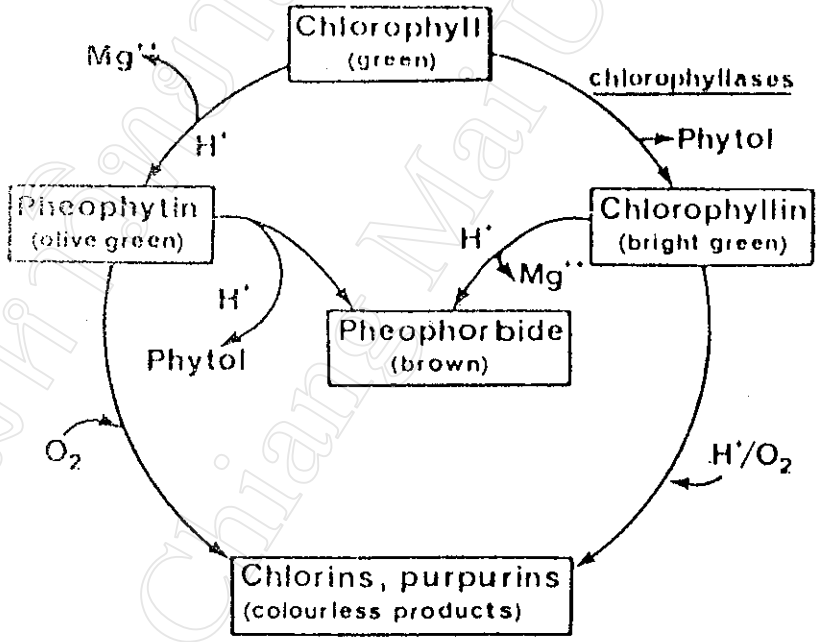
คาโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารสีที่มีสีแสด สีเหลือง และสีแสดแดง มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) มีคาร์บอน 40 อะตอม ตัวอย่างรงควัตถุที่พบมาก ได้แก่ เบตาคาโรทีน (β-carotene) ไลโคปีน (lycopene) และคริปโตแซนทิน (cryptoxanthin) ดังแสดงในภาพที่ 1B-D (Salisbury and Ross, 1985; Gross, 1987)

คาโรทีนอยด์ที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ ไลโคปีน ซึ่งให้สีแดงที่เป็นสารสีหลักในมะเขือเทศ เบตาคาโรทีน พบในส้ม ส้มโอสีชมพู และคริปโตแซนทิน พบในผักใบเขียวและส่วนที่มีสีเขียว (Charley, 1972)



ภาพ 1 สูตรโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ (A) และคาโรทีนอยด์ (B, C และ D) (Salisbury and Ross, 1985; Gross, 1987)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นโดยสีเขียวจะหายไปและปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของรงควัตถุพวกคลอโรฟีลล์ จนทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุคาโรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวข่มอยู่ให้ปรากฏชัดออกมา พร้อมกับการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นด้วย (Gross, 1987) การสลายตัวของคลอโรฟีลล์อาจเกิดขึ้นจาก (1) สภาพที่เป็นกรด ทำให้อะตอมของแมกนีเซียมหลุดออกไปจากส่วนหัวของโมเลกุลได้สาร pheophytin ซึ่งยังคงมีสีเขียวอยู่ (2) การทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase จะแยกส่วนหัวและส่วนหางของโมเลกุลออกจากกันแต่ผลที่ได้ยังคงมีสีเขียวอยู่ (3) double bond ในวงแหวน porphyrin ถูกทำลายลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน กรณีนี้จะมีผลทำให้สีเขียวของคลอโรฟีลล์สูญเสียไป ดังแสดงในภาพที่ 2 (Wills *et al.*, 1981)



ภาพ 2 การเสื่อมสลายของคลอโรฟีลล์รูปแบบต่าง ๆ (Wills *et al.*, 1981)

การสูญเสียคลอโรฟีลล์จากผลิตผลอาจเป็นผลดีหรือผลเสียก็ได้ขึ้นอยู่กับการยอมรับของผู้บริโภค เช่น ส้มในต่างประเทศจะต้องทำให้สีเขียวหมดไปจึงจะขายได้ราคาดี แต่มะนาวไทยที่ดีนั้นจะต้องยังคงมีสีเขียวอยู่เสมอ

การลดลงของปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินซีพบมากในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวทั้งหลาย เช่น มะเฟือง มะขามป้อม สตรอเบอรี่ ฝรั่ง มะนาว ฯลฯ และในผักที่ได้จากส่วนยอดของพืช เช่น ถั่วงอก ผักกาดเขียวปลี กะหล่ำปลี กะหล่ำปม (สินธนา, 2541) วิตามินซีในผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียรและถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) จากนั้น dehydroascorbic acid อาจถูกออกซิไดซ์ไปเป็น 2, 3- deketogulonic acid ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี วิตามินซีในผลิตผลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid (90%) อย่างไรก็ตามปริมาณของวิตามินซีในรูปต่าง ๆ นี้ยังขึ้นอยู่กับอายุของผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยว ในมะเขือเทศเมื่อผลเริ่มสุกมีปริมาณ reduced ascorbic acid เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ dehydroascorbic acid มีปริมาณลดน้อยลง แต่ปริมาณ ascorbic acid ทั้งหมดค่อนข้างคงที่ ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าวิตามินชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปผักรับประทานใบ และช่อดอกมักมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูง แต่ในผลไม้มีการสูญเสียวิตามินซีเกิดขึ้นไม่มากนัก การสูญเสียวิตามินซีเกิดจากทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผล และอาจเกิดจากการออกซิเดชันซึ่งไม่ใช้เอนไซม์ (Ulrich, 1970)

Ulrich (1970) รายงานว่า สภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลมีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของกรดแอสคอบิคกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียกรดแอสคอบิคจะมีมากขึ้น Q_{10} ของการสูญเสียกรดแอสคอบิคมีค่าประมาณ 2.0 แต่ในมันฝรั่งกลับพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียกรดแอสคอบิคมากกว่าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งไม่ทราบว่าเป็นเพราะเหตุใด แต่อาจจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลของมันฝรั่งก็เป็นได้ ส่วนในมันเทศนั้นก็เช่นเดียวกับมันฝรั่ง การสูญเสียกรดแอสคอบิคมีมากที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้คงเนื่องมาจากการเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ทำให้เซลล์ของมันเทศแตกสลาย กรดแอสคอบิคจึงถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนและเอนไซม์ต่างๆ ปริมาณการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลทำให้มีการสูญเสียกรดแอสคอบิคมากขึ้น เช่นเดียวกับคาโรทีน การให้ความชื้นกับผลิตผลระหว่างการเก็บรักษานอกจากจะช่วยรักษาความสดไว้แล้ว ยังช่วยรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ด้วย สำหรับองค์ประกอบของบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผลนั้น ก๊าซออกซิเจนเร่งให้มีการสูญเสียกรดแอสคอบิคเร็วขึ้น เช่น ในการเก็บรักษาพาร์สเลย์ที่ 4°ซ เป็นเวลา 42 วัน กรดแอสคอบิคลดลง 57 และ 15% ในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 21 และ 4.2% ตามลำดับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ เช่น 1% ช่วยชะลอการสูญเสียกรดแอสคอบิคได้ แต่ถ้ามีมากถึง 6% จะทำให้เกิดผลในทางตรงกันข้าม ส่วนก๊าซเอทธิลีนซึ่งมีผลเร่งการสุกของผลไม้และการเสื่อมสลายตัวของผลิตผลทั่วๆ ไป แต่ไม่พบว่ามีผลต่อการสูญเสียกรดแอสคอบิค

2.3 การเก็บรักษา

การเก็บรักษามะนาวมีหลายวิธีแต่ละวิธีมีความเหมาะสมแตกต่างกัน แต่ไม่ว่าจะเป็นการเก็บรักษาด้วยวิธีใดก็ตาม หลังจากเก็บรักษาแล้วผลมะนาวต้องมีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค วิธีการเก็บรักษาที่นิยมปฏิบัติกันมีหลายวิธี เช่น

1. การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ เป็นการปรับอุณหภูมิรอบผลิตผลให้ต่ำลงเพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดและในขณะเดียวกันก็ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่จะเข้าทำลายผลิตผลนั้น ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผลตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราผันแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตก็สูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น และส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้น การเก็บรักษาผลิตผลจึงควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ผักและผลไม้ในเขตร้อนมักมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าผักผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาว อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผลิตผลได้ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง น้ำในเซลล์จะแข็งตัว ผลึกของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และอวัยวะในเซลล์ฉีกขาดทำให้เซลล์ตายได้ (จริงแท้, 2541) การเก็บรักษาผลมะนาวไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอกระบวนการเมตาโบลิซึมของผลและชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอยู่ระหว่าง 10-15°ซ ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวได้ คือ เกิดรอยบุ๋มเล็กๆ กระจายทั่วทั้งผล จารุวรรณ (2543) รายงานว่าการเก็บรักษาผลมะนาวไว้ที่อุณหภูมิ 9-10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% สามารถเก็บรักษามะนาวได้นาน 6– 8 สัปดาห์

McDonald *et al* (1985) รายงานว่า การเก็บรักษาผลมะนาวพันธุ์ Bearss ไว้ที่อุณหภูมิ 1°ซ เป็นเวลา 21 วัน แล้วนำออกมาเก็บไว้ที่ 21°ซ เป็นเวลา 14 วัน จะพบอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้น 15% ส่วนผลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°ซ จะพบอาการสะท้านหนาว 1% และหลังจากนำผลไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 21°ซ จะพบการเข้าทำลายของเชื้อรากลุ่ม *Penicillium digitatum* Sacc.

2. การหมกทรายหรือการฝังในทรายที่มีความชื้น โดยบรรจุผลมะนาวลงในไหแล้วกลบด้วยทรายที่สะอาด พรมน้ำให้ชุ่ม เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10-12°ซ สามารถเก็บรักษาได้นาน 1-2 เดือน (สราวุธ และชุตินันท์, 2531)แต่ถ้าฝังในทรายชื้นแล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาผลมะนาวได้เพียง 21 วัน โดยผลเริ่มเน่าในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ซึ่งปัญหาเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ การฝังในทรายชื้นจะลดอัตราการคายน้ำของผล ช่วยรักษาความเต่งของผล และชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ (นิภา และคณะ, 2531) อย่างไรก็ดีวิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษามะนาวในปริมาณมากๆ

3. การบรรจุในถุงพลาสติก เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลมะนาวได้ ซึ่ง อนุกูล (2525) รายงานว่า การบรรจุผลมะนาวในถุงพลาสติก polyethylene (PE) ที่ปิดสนิทช่วยลดอัตราการคายน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกผลจึงทำให้ลดอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนได้บ้าง แต่ควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสม มิฉะนั้น จะทำให้ผลเน่าและมีกลิ่นหมัก ส่วนนิภา และคณะ (2531) รายงานว่า การบรรจุผลมะนาวในถุงพลาสติก (PE) เจาะรู เก็บที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บได้นาน 28 วัน โดยผลจะเหี่ยวเล็กน้อย และสีผิวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเหลือง หากเก็บมะนาวในลังไม้ฉำฉาแล้วกรุด้วยพลาสติกอย่างหนา เก็บที่อุณหภูมิ 10±2°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85–90% จะเก็บผลมะนาวได้นาน 2-3 เดือน โดยต้องจุ่มผลมะนาวในเบนเลทเข้มข้น 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร นาน 2 นาที แล้ววางผึ่งให้แห้งก่อนบรรจุ (นันทนา, 2531)

4. การใช้จิบเบอเรลลิน (gibberellin) เป็นการนำฮอร์โมนพืชมาใช้ในการชะลอการเสื่อมสภาพของพืชบางชนิดหลังการเก็บเกี่ยว โดยจิบเบอเรลลินจะช่วยชะลอการเปลี่ยนสีผิวจากเขียวเป็นเหลืองแต่ไม่สามารถชะลอการสุก (พีรเดช, 2529) นิศรา (2534) รายงานว่า การจุ่มผลมะนาวในสารละลาย GA_3 เข้มข้น 200 และ 400 ppm เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นเหลืองได้ 4 สัปดาห์ จากคุณสมบัติช่วยชะลอการเปลี่ยนสีผิวของจิบเบอเรลลินจึงน่าจะนำไปใช้ร่วมกันกับวิธีการอื่นๆ เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการเก็บรักษามะนาวให้นานขึ้น

5. การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere storage, MA storage) เป็นการเก็บรักษาผลิตผลในภาชนะที่ปิดสนิท เช่น ถุงพลาสติก เพื่อทำให้เกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในถุง ทำให้ปริมาณ O_2 ลดต่ำลงและ CO_2 เพิ่มสูงขึ้น สภาพการณ์ดังกล่าวสามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอทธิลีนและชะลออัตราการหายใจของผลิตผลได้ (Kader, 1992) ส่วนการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere storage, CA storage) เป็นการเก็บรักษาผลิตผลในภาชนะที่ปิดสนิทและสามารถควบคุมปริมาณก๊าซต่างๆ ภายในภาชนะให้คงที่และอยู่ในปริมาณที่ต้องการ การเก็บรักษาทั้ง 2 แบบ ต้องอยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำด้วย (Bartsch and Blanpied, 1990)

Kader *et al.* (1985) รายงานว่าการดัดแปลงสภาพบรรยากาศสามารถลดความเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยจะชะลอการสุก การเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ทำให้อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทธิลีนช้าลง ที่ระดับ O_2 ต่ำ ประมาณ 8% หรือระดับ CO_2 สูง 1% จะลดความไวในการสังเคราะห์เอทธิลีน ลดความผิดปกติทางสรีรวิทยา ควบคุมโรคและแมลงในผลไม้บางชนิด แต่การดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม อาจเป็นผลเสียแก่ผลิตผลได้ เช่น ทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสาลี่และแอปเปิล เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติของกล้วยและมะเขือเทศ อันเนื่องจากสภาพ O_2 ต่ำเกินไปหรือ CO_2 สูงเกินไป

การเก็บรักษาผลมะนาวในสภาพบรรยากาศที่มี O_2 เท่ากับ 5-10% และ CO_2 เท่ากับ 0-10% ที่อุณหภูมิ 10°ซ สามารถเก็บรักษาได้นาน 2-3 เดือน (นิภา, 2541) แต่ถ้าใช้ร่วมกับเบนเลทเข้มข้น 1,000 ppm จะสามารถเก็บรักษาผลมะนาวได้นาน 5 เดือน (อาชว์, 2530) หรือถ้าเก็บภายใต้ความดัน 170 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 10°ซ เก็บรักษาได้นาน 6 สัปดาห์ (สดสี, 2537)

กลุ่มงานวิจัยโรคพืชผลิตผลเกษตร (2539) รายงานว่า การเก็บผลมะนาวในสภาพบรรยากาศควบคุม โดยสัดส่วนก๊าซที่เหมาะสมคือ O_2 3% , CO_2 1% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซ N_2 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95% สามารถเก็บรักษามะนาวได้นาน 3 เดือน โดยไม่พบการเข้าทำลายของโรค

6. การใช้สารเคลือบผิว เปลือกผลไม้นอกจากจะทำหน้าที่ปกคลุมและป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายในผลแล้ว ยังทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในผลไม้ หรือภายในพืชกับก๊าซที่อยู่ภายนอกและทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความชื้น ป้องกันการติดเชื้อที่เข้าทำลายผล ทำหน้าที่ในการซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผลิตผล การระเหยของกลิ่น การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส และการเปลี่ยนแปลงทั่วไปด้านชีวเคมี (อรรณพ และคณะ, 2532)

เซลล์ชั้นนอกสุดของเปลือก คือ เซลล์ผิว (epidermal cell) ซึ่งเซลล์ชั้นในของเซลล์ผิวจะอยู่รวมกันแน่นไม่มีช่องว่าง ผนังด้านนอกของเซลล์เหล่านี้มีสารประเภทไข (wax หรือ cutin) เคลือบอยู่มาก เรียกชั้นนี้ว่า คิวติเคิล (cuticle) หรือนวลของผลไม้ ชั้นคิวติเคิลมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประเภทไขซึ่งอาจฝังตัวหรือปกคลุมอยู่บนผิวอาจอยู่ในลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือเป็นแผ่นหรือเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (สุรพงษ์, 2530) ในทางเคมีสารประเภทไขนี้อาจแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ soft wax และ hard wax ถ้าชั้นคิวติเคิลเป็น soft wax ซึ่งประกอบด้วยสารพวกเอสเทอร์ (esters) หรืออัลดีไฮด์ (aldehydes) หรือกรดไขมัน (fatty acids) หรือ อัลกอฮอล์ (alcohols) ที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวก็จะช่วยลดการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าพวก hard wax ซึ่งต่อกันเป็นลูกโซ่สั้นกว่า (อรรณพ, 2532) ชั้นของคิวติเคิลหรือนวลของผลไม้นี้มักหลุดออกได้ง่ายขณะเก็บเกี่ยวหรือทำความสะอาด เมื่อนวลของผลไม้หลุดไปจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ ทั้งในแง่ความทนทานต่อสภาพการเก็บรักษาและความสวยงามขณะวางจำหน่าย การเสื่อมคุณภาพของผลไม้ก็จะมาถึงเร็วกว่าปกติ ดังนั้นการเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนธรรมชาติให้กับผลไม้ ทำให้การสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซมีน้อยลง เมื่อผลไม้ได้รับ O_2 จากภายนอกน้อยลง อัตราการหายใจก็จะลดลง ในทางตรงกันข้าม ปริมาณ CO_2 จากการหายใจภายในผลมีการสะสมมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเอทธิลีน และชะลอการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้ (สายชล, 2528)

การเคลือบผิวเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้และจัดเป็นการเก็บรักษาผลิตผลแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ เพราะการเคลือบผิวจะเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซภายใน

ผลิตผลทำให้ปริมาณ CO_2 ซึ่งเกิดจากการหายใจมีมากและมีผลไปยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน (Hulme, 1971) ปัจจุบันมีสารเคลือบสังเคราะห์ที่จำหน่ายในรูปพร้อมใช้ได้ทันที แต่มักมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากสูตรยังเป็นความลับทางการค้า ส่วนคุณภาพแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ชนิด โครงสร้าง และความหนาในการเคลือบผิว (เกรียงศักดิ์ และคณะ, 2518) การเคลือบผิวมะนาวด้วย Tag Prolong เปรียบเทียบกับผลที่ไม่ใช้สารเคลือบผิวแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บได้นาน 18 วัน และ 8 วัน ตามลำดับ ถ้าเคลือบผิวด้วย Sta-fresh 360 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12°ซ หรือ 14°ซ สามารถเก็บรักษามะนาวได้นาน 3 เดือน โดยที่ผลมีสีเหลืองปนเขียวและเหี่ยวเล็กน้อย (อรรณพ และคณะ, 2535; พยุงศักดิ์ และคณะ, 2537) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้สารเคลือบผิวผสมกับวิธีการอื่นๆ เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการยืดอายุให้ดียิ่งขึ้น โดยนำผลมะนาวไปแช่ในสารละลาย GA_3 ที่ความเข้มข้น 500 ppm ที่มีส่วนผสมของ benomyl ก่อนนำไปเคลือบผิวด้วย Tal Prolong 1.2% แล้วนำไปหุ้มด้วยพลาสติก polyethylene (PE) สามารถควบคุมโรคได้นาน 2 เดือน และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้ดีกว่าการใช้พลาสติกเพียงอย่างเดียว แต่การเคลือบผิวทำให้เกิดกลิ่นหืนและรสขมในสัปดาห์ที่ 4 ของอายุการเก็บรักษา (จินดา และจำนงค์, 2530) คมสรรค์ และคณะ (2540) รายงานว่า การใช้ Sta-fresh 360 ความเข้มข้น 50% ร่วมกับ GA_3 เข้มข้น 200 และ 400 ppm เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85% สามารถยืดอายุผลมะนาวได้นาน 28 วัน ซึ่งนานกว่าสภาพธรรมชาติ 14 วัน และการใช้ GA_3 ที่ความเข้มข้น 400 ppm สามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์และลดความรุนแรงของการเกิดสะท้านหนาวได้ดีที่สุด

2.4 การป้องกันโรคหลังการเก็บเกี่ยว

1. การใช้น้ำร้อน (hot water treatment) การแช่ผลมะนาวในน้ำร้อนหรือน้ำร้อนผสมสารเคมีบางชนิด มีจุดประสงค์เพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคในระหว่างการเก็บรักษา จินดา และจำนงค์ (2530) รายงานว่า การชุบผลมะนาวด้วยสารละลาย benomyl 500 ppm ที่ 52 °ซ นาน 2 นาที สามารถควบคุมโรคได้นาน 2 เดือน และ Houck (1997) รายงานว่า การควบคุมเชื้อดังกล่าวจะให้ผลดียิ่งขึ้น ถ้าให้อุณหภูมิและระยะเวลาในการจุ่มที่เหมาะสมกับผลผลิตมะนาวที่ผลิตได้ในแต่ละฤดู เช่น มะนาวสดในฤดูร้อน ควรจุ่มน้ำร้อนที่ 57 °ซ นาน 10 นาที มะนาวสดในฤดูหนาวควรจุ่มน้ำร้อนที่ 57°ซ นาน 5 นาที และมะนาวผิวเหลืองในฤดูหนาว ควรจุ่มน้ำร้อนที่ 49°ซ นาน 10 นาที หรือ 52°ซ นาน 5 นาที

Schirra *et al.* (1995) รายงานว่า การแช่ผล grapefruit พันธุ์ redblush ในน้ำร้อน 50°ซ และ 20°ซ เป็นเวลา 3 นาที ที่ผสมด้วย imazalil 1500 ppm และแช่ในน้ำร้อนเพียงอย่างเดียว นำไปเก็บรักษาไว้ที่ 8°ซ เป็นเวลา 16 สัปดาห์ แล้วนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20°ซ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 20°ซ ที่ผสมด้วย imazalil 1500 ppm สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้

ประมาณ 50-60% ลดการเน่าเสียของผลที่มีสาเหตุจากเชื้อ *Penicillium digitatum* และ *P. italicum* ได้ประมาณ 20% ประสิทธิภาพของสารทั้ง 2 ชนิดนี้ จะเพิ่มขึ้นถ้าหากผสมลงในน้ำร้อน 50°ซ อย่างไรก็ตามการแช่ผลในน้ำร้อนที่ไม่ผสมสารฆ่าเชื้อราก็มีประโยชน์เช่นกัน โดยผลที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50°ซ นั้นจะเกิดอาการสะท้านหนาวต่ำกว่าผลที่แช่ลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 20°ซ ถึง 3 เท่า การใช้สาร imazalil ผสมในน้ำร้อน 50°ซ พบว่า จะทำให้เกิดความเป็นพิษกับผล โดยอาการที่แสดงออกเนื่องจากความเป็นพิษนั้นจะเกิดขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าผลที่จุ่มลงในน้ำร้อน 20°ซ ร่วมกับสาร imazalil จะมีอัตราการหายใจสูงที่สุด ในขณะที่อัตราการผลิตเอทธิลีนภายในผล ตลอดจนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดไม่แตกต่างกัน

Schirra and Mulas (1995) รายงานว่า การนำผลมะนาวฝรั่งพันธุ์ Di Massa แช่ในน้ำร้อน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกที่ 52°ซ และครั้งที่ 2 ที่ 25°ซ ที่มีส่วนผสมของ imazalil 1000 ppm แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 6°ซ เป็นเวลา 9 สัปดาห์ แล้วนำออกเก็บรักษาไว้ที่ 20°ซ เป็นเวลา 10 วัน สามารถลดอาการผิดปกติ การเน่าเสียของผลได้ดีกว่าชุดที่แช่ในน้ำร้อน 25°ซ และยังพบว่าผลมะนาวในทุกชุดการทดลองจะมีอัตราการหายใจ การผลิตเอทธิลีน ความเข้มข้นของเอทธานอล ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้หลังการเก็บรักษาไม่แตกต่างทางสถิติ

El-Shiekh (1996) รายงานว่า การแช่ผล grapefruit พันธุ์ Marsh ในน้ำร้อน 45°ซ และ 48°ซ เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับผลที่ไม่แช่ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 90 วัน พบว่า ผลที่แช่ในน้ำร้อน 45°ซ และ 48°ซ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างทางสถิติ และมีความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวน้อยกว่า 30% ขณะผลที่ไม่แช่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อย แต่ผลมีความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวมากกว่า 90% เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำในผล ปริมาณกรด ความแน่นเนื้อ เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

Mclauchlan *et al.* (1997) รายงานว่า การแช่ผลมะนาวฝรั่งพันธุ์ Eureka ในน้ำร้อน 47°ซ เป็นเวลา 1-3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1°ซ เป็นเวลา 28-42 วัน สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่แช่ในน้ำร้อน 53°ซ และผลที่ไม่แช่

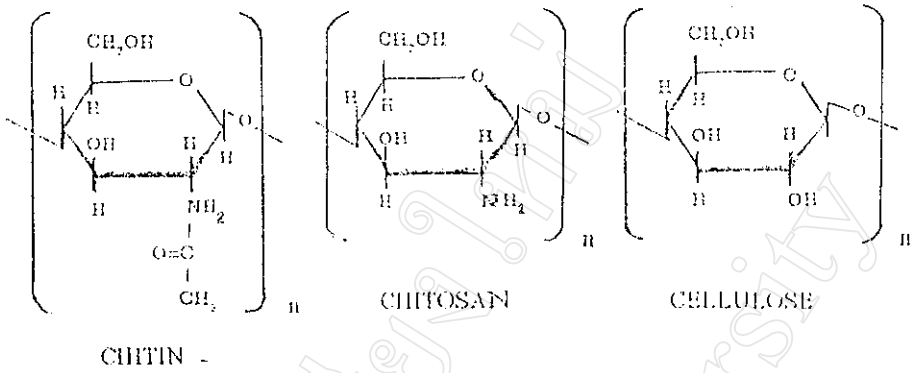
Schirra and Hallewin (1997) รายงานว่า การแช่ผลส้มพันธุ์ Fortune ในน้ำร้อน 50-54°ซ เป็นเวลา 3 นาที ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 6°ซ เป็นเวลา 30 วัน แล้วนำไปเก็บที่ 20°ซ เป็นเวลา 3 วัน สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวและการเน่าเสียของผลเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ และยังพบว่าหากใช้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่สูงเกินไปจะชักนำให้ผลส้มเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อน (heat damage) ซึ่งผลจะมีสีน้ำตาลคล้ำ

2. การใช้โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride; NaCl) เกลือแกงหรือเกลือมีลักษณะสีขาวเป็นผลึกรูปร่างไม่แน่นอนแต่จัดลักษณะของผลึกเป็นแบบลูกบาศก์ (cubic system) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (Pearson, 1984) และเป็นสารป้องกันการบูดเน่าของอาหาร เกลือเป็นสารให้กลิ่นรสและสามารถรักษาอาหารชนิดต่างๆ ได้ การใช้เกลืออาจจะใช้ความเข้มข้นต่ำ คือประมาณ 2-4% ร่วมกับอุณหภูมิต่ำ หรือใช้ร่วมกับกรดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Lueck, 1980 ; Sinskey, 1980) เกลือเป็นสารที่สร้างให้เกิดรสเค็มในอาหาร ช่วยป้องกันการบูดเสียของอาหารได้และยังใช้ในอุตสาหกรรมหมักดองมาเป็นเวลานาน เพราะอนุมูลพวก sodium, potassium, calcium, magnesium มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยตรงเมื่อมีมากเกินความต้องการ (Fabian and Winslow, 1929) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ยังช่วยลดการแพร่หรือการแทรกซึมของออกซิเจนที่จะซึมลงในสารละลายได้น้อยลง ทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตได้ยาก

Jensen (1954) ได้สรุปผลของระดับเกลือที่มีต่อการเจริญของจุลินทรีย์ไว้ว่า แบคทีเรียชนิดไม่ต้องการออกซิเจนจะหยุดการเจริญทันทีที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 5% ในขณะที่ระดับความเข้มข้นนี้จะมีผลน้อยมากต่อแบคทีเรียชนิดต้องการอากาศ ชนิด facultative และพวก Micrococcus การเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ระดับความเข้มข้น 10% แม้ว่าจะมีแบคทีเรียบางชนิดที่ทนต่อเกลือสามารถเจริญได้ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือถึงร้อยละ 15

Obenland and Aung (1997) รายงานว่า การแช่ผลเนคทารีนในน้ำร้อน 46°ซ และ 50°ซ สามารถควบคุมแมลงวันผลไม้ได้ดีไม่แตกต่างกัน แต่ทำให้ผลเกิดอาการผิดปกติ โดยผลเนคทารีนที่แช่ในน้ำร้อน 46°ซ จะพบอาการผิดปกติน้อยกว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 50°ซ อาการผิดปกติที่พบสามารถแก้ไขได้ โดยการนำผลเนคทารีนไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 200 mM ที่ 46°ซ

3. การใช้ไคโตแซน (chitosan) ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินซึ่งเป็นโพลีเมอร์ชีวภาพในกลุ่มคาร์โบไฮเดรทที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) ไคตินมีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืช แต่ไคตินเป็นโพลีเมอร์ของสัตว์ (Austin *et al.*, 1981) แหล่งที่พบไคตินได้มาก เช่น ในเปลือกสัตว์พวกครัสเตเซียน ไคตินช่วยให้เปลือกสัตว์เหล่านี้แข็งแกร่ง และยังพบในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบไคตินบุระบบย่อยอาหาร ระบบขับถ่ายของสัตว์หรือพบตามผนังเซลล์ของเห็ดรา ยีสต์ แบคทีเรีย โดยจะรวมอยู่ในสารพวกโพลีแซคคาไรด์ (มยุรา, 2539) ส่วนไคโตแซนได้จากกระบวนการ deacetylation ของไคตินโดยดึง acetyl group ออกได้เป็น D-glucosamine polymer ซึ่งเป็น amino sugar (Filar and Wirick, 1978) สูตรโครงสร้างของไคติน ไคโตแซนและเซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างคล้ายกันดังภาพ 3



ภาพ 3 สูตรโครงสร้างของไคตินเปรียบเทียบกับไคโตแซนและเซลลูโลส (Ornum, 1992)

คุณสมบัติที่สำคัญของไคโตแซนคือ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มใสเหนียวและยืดหยุ่นใช้ห่อหุ้มอาหารเนื่องจากรับประทานได้และทนอุณหภูมิสูง สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงมีผลต่อเมตาโบลิซึมของผลไม้

ประโยชน์ของไคโตแซนในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวเช่น การใช้ไคโตแซนที่ระดับความเข้มข้น 1.25% เคลือบผิวผลมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสารฆ่าเชื้อรา สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเวลา 24 และ 56 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±1°ซ) ความชื้นสัมพัทธ์ 82±5% และ 11±1 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85±5% ตามลำดับ (ไพรัตน์และคณะ, 2536) นอกจากคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลแล้วไคโตแซนยังมีคุณสมบัติยับยั้งการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวอีกด้วย ในการทดลองกับมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 20°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 95% พบว่า การเคลือบผิวมะเขือเทศด้วยไคโตแซนที่ความเข้มข้น 2% จะให้ผลในการยืดอายุการเก็บรักษาดีกว่ากลุ่มที่เคลือบด้วยความเข้มข้น 1% และดีกว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวตลอดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบการลดลงของการเกิดโรคจาก *Botrytis cinerea* ซึ่งเป็นเชื้อหลักที่ทำให้เกิดโรคในมะเขือเทศ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคจะต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (El-Ghaout *et al.*, 1992)

El-Ghaout *et al.* (1991) รายงานว่า ไคโตแซนเข้มข้น 1.0 และ 1.5% ที่เคลือบลงบนผลสตรอเบอรีสด สามารถยับยั้งโรคจากเชื้อราที่เก็บที่อุณหภูมิ 13°ซ ได้ไม่แตกต่างจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ในช่วง 21 วันแรก แต่หลังจากนั้นไคโตแซนจะยับยั้งการเกิดโรคได้ดีกว่า Rovral อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้เหตุผลในการทดลองว่าหลังจาก 21 วันแล้ว Rovral จะเกิดอาการเป็นพิษ (phytotoxicity) ต่อผลสตรอเบอรีมีอาการฉ่ำน้ำ (water-soaked areas) ทำให้เกิดโรคมากกว่าชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซน และการที่ไคโตแซนสามารถยับยั้งการเกิดโรคได้ เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นสารยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยตรงจากไคโตแซนเองหรือการเหนี่ยวนำให้เกิดเอนไซม์

(chitinase และ β1,3-glucanase) มาย่อยผนังเซลล์ของเชื้อรา และการกระตุ้นการสร้างสารต่อต้านเชื้อราของสตรอเบอรี่ (phytoalexins) หรือทั้ง 3 สาเหตุร่วมกัน ต่อมา El-Ghaout *et al.* (1992) ได้ศึกษาเรื่องนี้ต่อโดยนำผลสตรอเบอรีที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus stolonifer* แล้วเคลือบด้วยไคโตแซน 1.0 และ 1.5% พบว่า การเกิดโรคจากเชื้อทั้ง 2 ชนิดจะลดลง และกลไกการเกิดโรคจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นตัวยับยั้งเชื้อรามากกว่าความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของ chitinase, chitosanase และ β1,3-glucanase ไคโตแซนมีผลในการยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของเชื้อทั้ง 2 นี้ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

Zhang and Quantick (1997) พบว่า การเคลือบผิวผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ด้วยไคโตแซนเข้มข้น 1.0% สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาล (browning) ที่เปลือกผลลิ้นจี่ได้ นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการเกิดโรคในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90%

จากปัญหาที่พบในการเก็บรักษาผลมะนาวไทยพันธุ์แป้น และแนวทางการควบคุมโรคในระหว่างการเก็บรักษาที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืชรวมทั้งข้อมูลจากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องจึงน่าจะมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาโดยใช้ น้ำร้อน โซเดียม-คลอไรด์ และสารเคลือบผิวไคโตแซน กับมะนาวไทยพันธุ์แป้น ต่อไป