บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นไม้ผลอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย มีปลูกอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ มะม่วงที่ปลูกในภาคกลางของประเทศไทยมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ส่วนมะม่วงที่ปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน (รวยริน, 2547) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นพันธุ์หนึ่งที่มีการส่งออกในรูปผลสดเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ (ทวีศักดิ์, 2547)

ผลมะม่วงแบ่งออกตามลักษณะการใช้ประโยชน์เป็น 3 ประเภท (อมรศรี, 2547)

ก. มะม่วงบริโภคผลสุก เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ ทองดำ และหนังกลางวัน

ข. มะม่วงบริโภคผลดิบ เช่น เขียวเสวย แรด หนองแซง และพิมเสนมัน

ค. มะม่วงสำหรับอุตสาหกรรม เช่น แก้ว สามปี และตลับนาค

ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เป็นมะม่วงที่บริโภคผลสุก สำหรับพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองผลดิบจะมีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนคล้ายมะม่วงสุกทั้งที่ผลยังอ่อนอยู่ (2-3 เดือน) ซึ่งผลมะม่วงทั่วไปจะมีผิวสีเขียว ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีผิวที่หนากว่าผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้ ส่งผลให้ป้องกันการช้ำและต้านทานโรคแอนแทรกโนสได้ดีกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 รสชาติผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่อผลอ่อนมีรสเปรี้ยว ผลแก่มีรสมัน เนื้อกรอบ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) 17-18 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาบ่มให้สุกจะมีกลิ่นหอม และรสหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเป็น 18-23 เปอร์เซ็นต์ เนื้อไม่มีเสี้ยน เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดบาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 300-400 กรัม ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น (นิทยา, 2548)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุก

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก ควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะม่วงมีความแก่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ (นาวิน, 2547) จมในน้ำแต่ลอยในน้ำเกลือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2542) ผลมะม่วงเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว สารอาหารและส่วนประกอบต่างๆ ภายในผลมะม่วงจะถูกออกซิไดซ์เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการดำรงชีวิตของเซลล์ การเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่แก่บริบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีกระบวนการสุกเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และกายภาพ ส่งผลต่อคุณภาพของผลมะม่วงสุก ได้แก่

1) การหายใจและการผลิตเอทิลีน

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภทบ่มให้สุก (climacteric fruits) (จริงแท้, 2542) มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นขณะที่ผลไม้เริ่มสุก โดยสามารถแบ่งช่วงการเกิด climateric peak ออกได้เป็น 4 ระยะ คือ

a) Pre-climacteric เป็นระยะที่มีการหายใจต่ำ ผิวผลมีสีเขียว และลักษณะเนื้อยังแข็ง

b) Climacteric rise ระยะนี้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ผิวผลยังคงมีสีเขียว และเนื้อยังแข็งอยู่ ช่วงเวลาตั้งแต่เก็บเกี่ยวผลจากต้นกระทั่งสิ้นสุดระยะนี้ ใช้เวลาประมาณ 6 วัน

c) Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ผลเริ่มนิ่ม ผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี เริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย โดยทั่วไประยะนี้เกิดขึ้นประมาณวันที่ 6-10 ภายหลังการเก็บเกี่ยว

d) Post-climacteric เป็นระยะที่อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างช้าๆ เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน ผลมีผิวสีเหลือง เนื้อผลเริ่มนิ่มและมีกลิ่นหอม สำหรับผลมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากวันแรก และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 5 หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว (จริงแท้, 2542)

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การผลิตเอทิลีนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับสูงสุด ในวันที่ 4 มีปริมาณเท่ากับ 4.5 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ 0.25 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ในวันที่ 12 แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่ามีการผลิตเอทิลีนสูงสุดเท่ากับ 1.14 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ในวันที่ 24 (สุกันยา, 2539)

2) การเปลี่ยนสีเปลือก

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมะม่วงจากผลดิบเป็นผลสุกจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพันธุ์ โดยระหว่างการสุกจะมีการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์จากกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (Kader, 2000) มีการสังเคราะห์แซนโทฟิลล์ แคโรทีน และแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองแดง เหลืองส้ม และสีม่วงน้ำเงิน ปรากฏขึ้น ทำให้เมื่อผลมะม่วงสุกเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง หรือส้มแดง หรือม่วงแดง (Estrada, 2004) เช่น เปลือกผลมะม่วงพันธุ์ Harden เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลืองส้ม และพันธุ์ Tommy Atkins เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มแดง ในขณะที่พันธุ์ Keitt เปลือกผลมะม่วงยังคงเป็นสีเขียวอยู่ (Cruze and García, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อยู่ในระยะแก่จัด ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง (จริงแท้, 2542)

3) การอ่อนตัวของผล

การอ่อนตัวของผลไม้เกิดจากเซลล์พาเรนไคม่ามีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น (stiffness; elastic modulus) เฮมิเซลลูโลสที่ผนังเซลล์มีน้ำหนักโมเลกุลลดลงทำให้ผนังเซลล์เสื่อมสภาพ เนื่องจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์เปลี่ยนไป สารภายในเยื่อหุ้มพลาสม่ามีความเข้มข้นน้อยกว่าภายนอกเยื่อหุ้ม ทำให้แรงดันเต่งภายในเซลล์ลดลง และการที่ผลไม้อ่อนตัวเนื่องจากการคืนตัวของเซลล์ (cell relaxation) เปลี่ยนไป เพราะแรงยึดเกาะระหว่างเซลล์ลดลง (Abbott and Harker, 2003) การสูญเสียความเต่งของเซลล์จะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำของผล โดยผ่านทางช่องเปิดต่างๆ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างการสุกของผลไม้ ส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพกทินในผนังเซลล์ระหว่างการสุก (Kala *et al.*, 1995) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลเริ่มนิ่มได้ 1 วัน มีค่าความแน่นเนื้อ 8.7 นิวตัน และลดลงเป็น 0.50 นิวตัน เมื่อผลนิ่มได้ 10 วัน (ธีราพร, 2536) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ที่อุณหภูมิ 5 และ 14 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีความแน่นเนื้อลดลงน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส (Lederman *et al.*, 1997) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระยะผลดิบ มีค่าความแน่นเนื้อ 14.12 นิวตัน และเมื่อผลสุกมีค่าความแน่นเนื้อ 9.78 นิวตัน (เสาวภา, 2547)

4) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ระหว่างการแก่และสุกของผลมะม่วง นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อแล้ว ยังมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีลดลงตลอดระยะเวลาที่ผลสุกเองตามธรรมชาติ ผลมะม่วงสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (สายชล, 2530) การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้นในช่วง 15 วัน หลังจากนั้นปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา (Kaewchana *et al.*, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาผลมะม่วง

ปัญหาที่สำคัญในระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วง คือ การเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผลมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit เมื่อผลมะม่วงแก่จัด หรือเริ่มสุก จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น (สายชล, 2530) แต่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อชะลอกระบวนการหายใจ และกระบวนการเมแทบอลิซึมที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ ตลอดจนอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปผลมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 2-3 สัปดาห์ (Kader, 2000) ส่วนผลมะม่วงส่งออกของไทยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13-15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 2 สัปดาห์ (ทวีศักดิ์, 2547) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้เกิดความเสียหายและผิดปกติ ซึ่งอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเซลล์ ที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเป็นเวลานานๆ เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งอาการนี้เองเป็นข้อจำกัดในการเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (Kader, 2000) โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความรุนแรงของอาการ ลักษณะอาการที่พบเมื่อผลมะม่วงเกิดอาการสะท้านหนาว คือ มีการสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวมีรอยช้ำ จุดดำ มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Kala *et al.*, 1995) การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและเคมีของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงไม่แสดงอาการสะท้านหนาว สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 20 วัน และสามารถสุกได้ที่อุณหภูมิห้อง (Tungtirmthong *et al.*, 2001) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในระยะผลดิบเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กระทั่งผลสุก พบว่าแสดงอาการสะท้านหนาว ในขณะที่ผลมะม่วงที่บ่มด้วยก๊าซอะเซทิลีนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ไม่พบอาการสะท้านหนาว (Whangchai *et al.*, 1999) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีความอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 (เสาวภา, 2547)

อาการสะท้านหนาว

ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.5 องศาเซลเซียส จะอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว และความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวมิได้เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำแข็งขึ้นภายในเซลล์ จึงแตกต่างจากอาการ freezing injury พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งส่วนต่างๆ ของพืชจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำด้วย ยกเว้นพืชที่มีเมล็ดแก่และแห้งแล้วเท่านั้น อาการสะท้านหนาวอาจเกิดขึ้นได้ ตั้งแต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่ในสวน ระหว่างการขนส่ง ระหว่างการเก็บรักษา ระหว่างการขายส่งและขายปลีก หรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านทั่วๆ ไป อย่างไรก็ตาม ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในเขตอบอุ่นบางชนิดอาจอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน (ดนัย, 2540)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว

ระยะความแก่

ระยะความแก่ของผลไม้มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้แตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่ยังไม่แก่ถ้าผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวอาจทำให้ผลไม้ไม่สุก หรืออาจสุกได้คุณภาพไม่ดี เช่น ผลมะเขือเทศที่อยู่ในระยะแก่จัดสีเขียว จะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะเขือเทศที่อยู่ในระยะสุกแล้ว (Mohammed and Brathwaite, 2000) ผลมะม่วงสุกสามารถต้านทานการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ดีกว่าผลมะม่วงดิบ (Paull and Chen, 2001)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิจัดเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว อุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดอาการสะท้านหนาวในพืชทั่วไปในเขตร้อนคือ ประมาณ 10 องศาเซลเซียส พืชบางชนิดอาจเกิดอันตรายที่อุณหภูมิ 12.7 องศาเซลเซียส และมีบางชนิดที่เกิดอันตรายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส (Wang, 1990) และความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากอาการสะท้านหนาว ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ผลมะม่วงได้รับอุณหภูมิต่ำ (ดนัยและนิธิยา, 2535) ถ้าอุณหภูมิต่ำมากและสัมผัสอยู่นานอาการก็จะเกิดขึ้นมาก แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำไม่มากและสัมผัสอยู่ไม่นานอาการจะเกิดขึ้นน้อย นอกจากนั้นปัจจัยทั้งภายในและภายนอกต้นพืชมีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว เนื้อเยื่อต่างชนิดภายในต้นพืชเดียวกันเกิดอาการได้ไม่เท่ากัน พืชชนิดเดียวกันแต่พันธุ์ต่างกันเกิดอาการได้แตกต่างกัน (จริงแท้, 2549) เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso เกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลมะม่วงพันธุ์ Kent เกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส (Morton, 1987)

ลักษณะทางพันธุกรรม

ผลไม้ที่มาจากแหล่งแตกต่างกันมีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำได้แตกต่างกัน ผลไม้ในเขตหนาว เช่น ท้อ และแอปเปิล จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลไม้ในเขตกึ่งร้อน เช่น ลิ้นจี่ และลำไย ผลไม้เขตร้อน เช่น มะม่วง มะละกอ ทุเรียน และเงาะ หรือพันธุ์ต่างกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำแตกต่างกันด้วย ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำที่

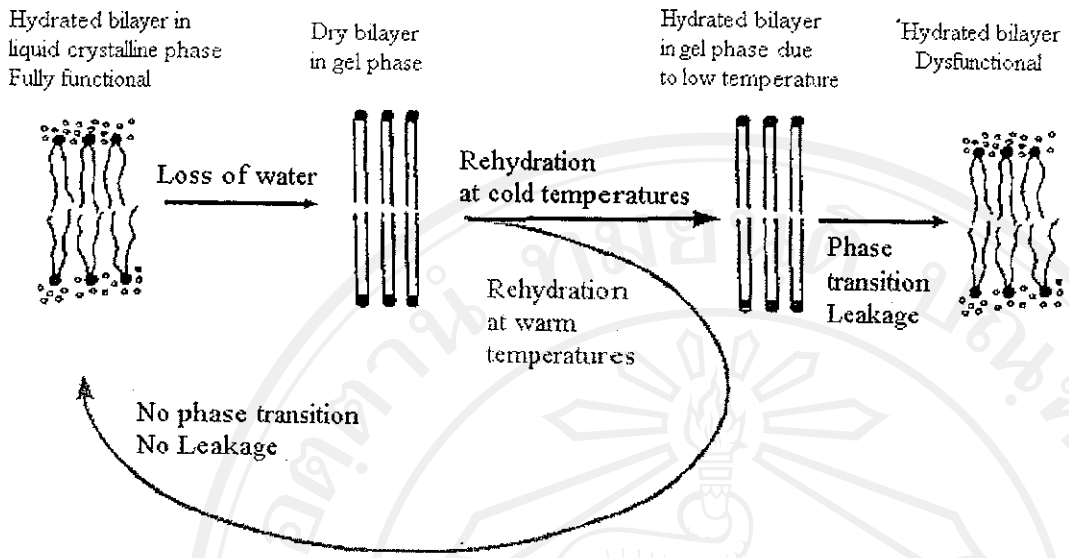
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก่อให้เกิดอันตรายกับผลไม้ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการควบคุมความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว โดยผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนานๆ จะเกิดอาการสะท้านหนาวรุนแรงและเกิดเร็วขึ้น (Saltveit and Morris, 1990) ผลมะม่วงพันธุ์แก้ว ทองดำ น้ำดอกไม้ และหนังกลางวัน ไม่สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 5 วัน เนื่องจากเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) จะแสดงอาการสะท้านหนาวที่ผิว ผลมะม่วงพันธุ์แรดและอกร่องสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 15 และ 25 วัน ตามลำดับ (Phakawatmongkol *et al*., 2004)

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาว

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีผู้สันนิษฐานว่าเกิดจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือเยื่อหุ้มอวัยวะภายในเซลล์บางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพขึ้น เมื่อได้รับอุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป ซึ่งส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ขึ้นและส่งผลให้เซลล์ตายได้ในที่สุด เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย (mitocondrial membrane) และเยื่อหุ้มอวัยวะอื่นๆ มีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกัน คือเป็นชั้นของไลโพโปรตีนซึ่งประกอบไปด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และโปรตีน เยื่อหุ้มเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ นอกจากนั้น ยังเป็นแหล่งที่เกิดกระบวนการสำคัญต่างๆ ด้วย เช่น กระบวนการหายใจและการสังเคราะห์แสง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้เยื่อหุ้มต่างๆ เหล่านี้จะเสื่อมสภาพลง การควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ จะเสื่อมลง ทำให้ สารตั้งต้นมีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม ทำให้เซลล์ขาดสมดุลและตายในที่สุด นอกจากนั้นแล้วอาการสะท้านหนาว หรืออาการผิดปกติทางสรีรวิทยาอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันนั้น มีผู้สันนิษฐานว่าเกิดเนื่องจากกรดไขมันในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเหล่านี้แตกต่างกัน กล่าวคือ พวกที่เกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายจะเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) และจะเปลี่ยนสถานะทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมา เช่น การสะสมสารพิษ ทำให้เซลล์เสื่อมคุณภาพลงและตายไปในที่สุด (ภาพ 2.1) ส่วนในผลไม้ที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ เชื่อว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะยังคงรักษาสถานะที่อ่อนตัวอยู่ได้ (จริงแท้, 2542 ; McKersie, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 สมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว (เขียนใหม่โดย Crowe *et al.*, 1989 อ้างโดย McKersie, 1996)

ลักษณะของอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน การเกิดอาการสะท้านหนาวเป็นผลมาจากการได้รับอุณหภูมิต่ำ และอาการมักเกิดรุนแรงเมื่อนำผลิตผลออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว อาการสะท้านหนาวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Saltveit and Morris, 1990)

1. เกิดรอยบุ๋ม (surface pitting) มักเกิดเป็นบริเวณกว้าง และมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิวผิดปกติควบคู่กันไปด้วย พบได้ในแตงกวา และมะเขือเทศ (Wang, 1990) และผลมะม่วงพันธุ์ Kensington (Nair and Singh, 2003)

2. อาการฉ่ำน้ำ (water soak) เมื่อเยื่อหุ้มเกิดความเสียหาย ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารจากเซลล์เกิดความผิดปกติ ทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ซึมออกมายังช่องว่างระหว่างเซลล์ ส่งผลให้ผิวของผลิตผลเกิดการเหี่ยว เนื่องจากเซลล์บริเวณผิวผลเกิดการสูญเสียน้ำ และเกิดอาการฉ่ำน้ำขึ้น เช่น มะละกอ แตงกวา และสับปะรด เป็นต้น (Wang, 1990) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จะปรากฏอาการฉ่ำน้ำในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (เพ็ญวิภา, 2541)

3. สีของเนื้อและเปลือกเปลี่ยนไป เนื้อของผลไม้บางชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ จะเปลี่ยนจากสีปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ท่อน้ำและท่ออาหาร การเปลี่ยนสีในลักษณะนี้ อาจเป็นเพราะกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่ออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชบางชนิด ระบบท่อน้ำ ท่ออาหารอาจจะกลายเป็นสีน้ำตาลได้ สีที่เปลือกมักจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนไปในทางที่คล้ำลงจากเดิม เมล็ดอาจจะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน สีผิวของผลมะม่วงมีความผิดปกติ และเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 12 สีเนื้อยังไม่ผิดปกติ แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็นเวลา 27 วัน สีเนื้อของผลมะม่วงมีความผิดปกติเล็กน้อย (สายชลและสุกันยา, 2546)

4. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีสารเมแทบอไลต์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายต่อได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนย้าย และการวางจำหน่าย ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียมากขึ้น โดยเฉพาะกับผลไม้เขตร้อน การวัดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถกระทำได้โดยวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว (McKersie, 1996) ในการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2000) และผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ในเนื้อเพิ่มขึ้น (ธเนศวร์, 2541) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่เปลือกเพิ่มขึ้น (Angsooksiri and Kanlayanarat, 2546)

5. มีการสุกที่ผิดปกติ ผลไม้บางชนิดที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางสรีรวิทยาแต่ยังไม่สุก จะมีความผิดปกติในการสุก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานๆ จะสูญเสียการพัฒนาทางด้านกลิ่น และรสชาติ เช่น การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ระยะแก่บริบูรณ์ เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว แต่ที่อุณหภูมิ15 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และยังพบว่าสารระเหย (aroma volatile) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Nair *et al.*, 2003)

6. การเน่าเสียและเสื่อมสภาพ ผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ และการกระทบกระเทือนจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เนื่องจากเซลล์ของพืชได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เนื้อเยื่อนิ่มลงจากการเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Wang, 1990) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้มีการเกิดโรคมากขึ้น (ธเนศร์, 2541)

7. อายุการเก็บรักษาสั้นลง เนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

8. ส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป ผลมะม่วงที่เกิดอาการสะท้านหนาวมักมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติไป เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Manilla ที่เกิดอาการสะท้านหนาว มีปริมาณกรดสูง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผลมะม่วงที่สุกตามปกติ (Vela *et al.*, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

9. ขาดคุณสมบัติในการเจริญต่อเนื่อง เช่น ไม่สามารถงอกได้ ซึ่งส่งผลเสียไปถึงส่วนขยายพันธุ์ต่างๆ ของพืชที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เช่น การเก็บรักษาหน่อแซนเดอโซเนีย ที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 202 วัน จะไม่สามารถงอกได้ (Clark, 1994)

อาการดังที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนั้น อาจจะเกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ระดับอุณหภูมิ และความรุนแรงของอาการ อุณหภูมิยิ่งต่ำกว่าจุดวิกฤตมากเท่าไร อาการสะท้านหนาวจะยิ่งเกิดรวดเร็วและรุนแรง (ดนัย, 2540)

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง

ลักษณะของอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง จะเกิดที่เปลือกโดยเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเทา ไม่สุกตามปกติ หรือสุกไม่สม่ำเสมอ รสชาติไม่ดี ผิวอาจไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อผลสุก เกิดรอยปุ่ม และเน่าได้ง่าย นอกจากนี้ยังแสดงลักษณะเนื้อผลเป็นสีคล้ำ เนื้อผลที่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเทาหรือสีน้ำตาล กลิ่นและรสชาติผิดปกติ (สายชล, 2530 ; ดนัย, 2540)

การศึกษาอาการสะท้านหนาวในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

ผลมะม่วงที่ระยะแก่บริบูรณ์บ่มด้วยอะเซทิลีนนาน 2 และ 4 วัน ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงจะไม่แสดงอาการสะท้านหนาว แต่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทันที ก่อนที่จะย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะแสดงอาการสะท้านหนาว ในขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ทันที เป็นเวลา 15 วัน และผลมะม่วงที่ผ่านการบ่มด้วยอะเซทิลีนเป็นเวลา 2 วัน ก่อนการเก็บรักษา จะแสดงอาการสะท้านหนาว เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 วัน ตามลำดับ และผลมะม่วงจะแสดงอาการสะท้านหนาวทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 45 วัน (Whangchai *et al.*, 1999) การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 20 วัน จึงแสดงอาการสะท้านหนาว (ธรรมภรณ์, 2534; วีรินทร์, 2535) การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน จะแสดงอาการสะท้านหนาวที่เนื้อผลติดเมล็ด แต่ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน จะแสดงอาการสะท้านหนาวที่เปลือกผลและจะแสดงอาการรุนแรงขึ้นเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (สุกันยา, 2539) การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอีก 8 วัน ผลมะม่วงจะแสดงอาการสะท้านหนาวที่บริเวณเนื้อผลที่ติดกับเมล็ด (วีรินทร์, 2535) ในขณะที่การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน ไม่แสดงอาการสะท้านหนาว และยังมีการพัฒนาการสุกเมื่อย้ายผลมะม่วงมาเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไว้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะเก็บรักษาไว้ได้ 10 วัน (Tungtirmthong *et al.*, 2001)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในพืช

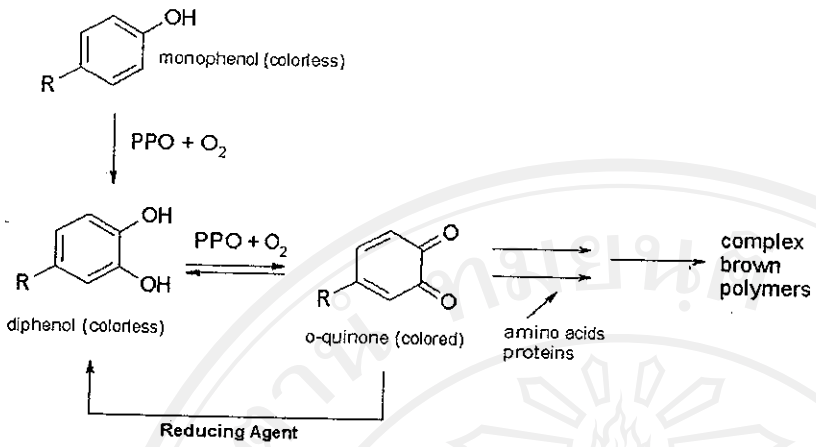
ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นเวลานาน มีลักษณะเนื้อติดเมล็ดเป็นสีเทา หรือสีดำคล้ำ สีเนื้อพัฒนาไม่สมบูรณ์ (ดนัย, 2540) การเกิดเป็นสารสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืชทั่วไป เกิดจากเอนไซม์ PPO ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในพลาสติด และคลอโรพลาสในพืช และจะออกมาทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลในไซโตพลาสซึม เมื่อพืชเกิดการเสื่อมสภาพ หรือการสุก (Vaughn and Duke, 1984 อ้างโดย Marshall *et al.*, 2006) โดยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลไปเป็นสารควิโนน (quinone) แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่และทำให้เกิดสีน้ำตาล (Joo *et al.*, 2001)

ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ที่เร่งด้วยเอนไซม์ของผักและผลไม้ คือ ปริมาณเอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช ค่าพีเอช อุณหภูมิ และออกซิเจนที่เนื้อเยื่อนำมาใช้ได้ (Marshall *et al.*, 2006)

1. เอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส

เอนไซม์ PPO สามารถพบได้ในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ สารที่ได้จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ PPO สามารถทำหน้าที่ป้องกันโรคและแมลงในพืช (Thipyapong *et al.*, 1997) และยังเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืช ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืช เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์ PPO จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ได้เป็น ออโทไดฟีนอล (o–diphenol) โดยมีโมโนฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อให้เป็นออโทควิโนน (o-quinone) จากนั้นออโทควิโนนจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโน และสารประกอบอื่นๆ โดยการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ได้เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสีน้ำตาลและมีโครงสร้างซับซ้อน (Marshall *et al.*, 2006) ดังภาพ 2.2.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.2 ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน และพอลิเมอไรเซชันของโมโนฟีนอล (Marshall, 2006)

2. สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO ประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ซึ่งเป็นสารฟีนอลพื้นฐาน (Clark, 2000) เมื่อรวมตัวกับสารอื่น จะกลายเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีความสำคัญในพืช ทำหน้าที่ต้านโรค ให้รสฝาด และ เป็นสารให้สีสำหรับพืชบางชนิด เช่น แอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (จริงแท้, 2542) โดยเอนไซม์ PPO ที่พบในส่วนของไซโตพลาสซึม (cytoplasm) จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบฟีนอลซึ่งปกติไม่มีสี เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาลได้ เมื่อเซลล์ของผักหรือผลไม้ถูกกระทบกระแทก ส่งผลให้เนื้อเยื่อเกิดบาดแผลปรากฏเป็นสีน้ำตาล (Marshall *et al.*, 2006) โดยโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลถูกเปลี่ยนไปเป็นควิโนน (quinone) แล้วรวมตัวกับโปรตีนหรือกรดอะมิโนเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น และมีสี น้ำตาล (จริงแท้, 2542) การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหาย ส่วนใหญ่เกิดขึ้นรอบๆ บาดแผล หรือบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดบาดแผลมากกว่าตำแหน่งที่เกิดบาดแผลโดยตรง (Woolf *et al.*, 2005) ซึ่งชนิดของสารประกอบฟีนอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ส่งผลต่อค่าพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ด้วย เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในรากคื่นฉ่าย (celery) ที่มีแคทิคอลเป็นสารตั้งต้นมีค่าพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 7 และ 25 องศาเซลเซียส ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีไพโรแกลลอนเป็นสารตั้งต้น มีค่าเท่ากับ 7.5 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Yagar, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ค่าพีเอช

ค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของเอนไซม์ ค่าพีเอชที่ต่ำหรือสูงเกินไปมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ เพราะค่าพีเอชจะมีผลโดยตรงต่อโครงรูปโมเลกุล (conformation) ของเอนไซม์นั่นเอง เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีค่าพีเอชที่ทำงานได้ดีที่สุด เรียกว่า พีเอชที่เหมาะสม (ปราณี, 2535) ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 5-7 (นิธิยา, 2544) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสารตั้งต้นแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและวิธีการสกัด เช่น ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO ที่ได้จากเผือก คือ 6.5 (Yemencioglu *et al.*, 1999) ของกล้วยพันธุ์ Anamur คือ 7 (Unal, 2005) ของผลอะโวกาโด คือ 7.5-7.6 (Gomez-Lopez, 2002) และในเมล็ดมะม่วงพันธุ์ Ikanekpo คือ 6.0 (Arogba, 2000) ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่สกัดได้จากผลมะม่วงคือ 5.8 (Chonhenchob, 2001)

4. อุณหภูมิ

โดยปกติอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับในกรณีของเอนไซม์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่ได้ทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นเสมอไป เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง เรียกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม เอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สุด หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นต่อไป อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลง เนื่องจากเอนไซม์ถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติ มีโครงรูปโมเลกุลเปลี่ยนไป จึงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานหรือมีกิจกรรมน้อยลงจนไม่มีในที่สุด โดยเอนไซม์แต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานแตกต่างกัน (ปราณี, 2535) เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPOในเมล็ดมะม่วงพันธุ์ Ikanekpo เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส (Arogba, 2000) ในผลมะม่วง เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส (Chonhenchob, 2001)

5. ออกซิเจน

เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ของผักและผลไม้ เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงต้องมีออกซิเจนเข้าร่วมปฏิกิริยาด้วย ในผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะเกิดออกซิเจนอิสระ ซึ่งส่งผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึมเปลี่ยนไป (McKersie, 1996) และเมื่อผลไม้เกิดอาการสะท้านหนาวประสิทธิภาพในการนำออกซิเจนออกจากเซลล์ลดลง ทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันสารสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืชที่เกิดอาการสะท้านหนาว (Ben-Amore *et al.*, 1999) เช่น การเก็บรักษาผลมะม่วงไทย 6 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 4 และ 8 องศาเซลเซียส เมื่อผลมะม่วงเกิดอาการสะท้านหนาวเนื้อผลมะม่วงใกล้เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Phakawatmongkol *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีลดการเกิดอาการสะท้านหนาว

วิธีการที่ใช้ลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลิตผลมีหลายวิธีดังนี้

1. การปรับสภาพต่ออุณหภูมิ (temperature conditioning)

โดยการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ เพื่อให้พืชมีเวลาในการปรับตัว ซึ่งสันนิษฐานว่า ในระหว่างการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ นั้น ภายในเซลล์ของพืชอาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ต่างๆ เช่น มีการสร้างฟอสโฟลิพิด ซึ่งมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบเพิ่มมากขึ้น ทำให้ทนทานต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น (จริงแท้, 2542) เช่น การเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ที่อุณหภูมิ 6 หรือ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ (Woolf, 2003)

2. การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (Modified Atmosphere; MA)

เนื่องจากผลิตผลที่เก็บรักษาในสภาพออกซิเจนต่ำ เอนไซม์ PPO มีกิจกรรมลดลง ดังนั้นสารประกอบฟีนอลจึงไม่ถูกออกซิไดซ์ และไม่เปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาล ทำให้ไม่เห็นอาการผิดปกติ (จริงแท้, 2542) การเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศนี้ นอกจากจะไปลดอัตราการหายใจแล้วยังเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ไอเอทานอล ซึ่งจะไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ 1-amino cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ทำให้การผลิตเอทิลีนลดลง ส่งผลให้ส่วนประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกเปลี่ยนไป และลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางอย่าง เช่น การนิ่ม การสูญเสียคลอโรฟิลล์ หรือการเกิดสีเหลือง การสูญเสียกรด และการเกิดกลิ่น (Pesis *et al.*, 1994) นอกจากจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตแล้ว ยังสามารถลดการเกิดหรือการพัฒนาอาการสะท้านหนาวได้อีกด้วย การเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins และ Keitt ในถุงพลาสติกพอลีเอทิลีน (polyethylene; PE) ที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนในอัตราส่วน 5 ต่อ 10 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วงได้ (Pesis *et al.*, 2000)

3. การเคลือบผิว (coating)

การเคลือบผิวจัดเป็นการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศอย่างหนึ่ง และสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ และสามารถป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ ทั้งนี้ เพราะองค์ประกอบของสารเคลือบผิวมีสารประเภทไขมัน ทำให้ทนทานต่อการเปลี่ยนสภาพทางกายภาพเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น และส่งผลให้เกิดอาการสะท้านหนาวลดลงได้ (จริงแท้, 2542) และการเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkin (Baldwin *et al.*, 1996; Feygenberg *et al.*, 2005) และผลฝรั่ง (McGuire and Hallman, 1995) ด้วยคาร์นูบาแว๊กซ์ ลดการเกิดอาการสะท้านหนาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ เนื่องจากเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้ไอเอทานอล ซึ่งส่งผลให้ผลมะม่วงและฝรั่งทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น (Pesis, 2005)

4. การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษา (heat treatment)

การใช้ความร้อนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้น้ำร้อน (hot water) ไอร้อน (heat vapor) และลมร้อน (hot air) อุณหภูมิที่นิยมใช้มี 2 ระดับ คือ การใช้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน (long term) และการใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น (short term) (Hatton, 1990) การลดอาการสะท้านหนาวในผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่ผ่านอากาศร้อนเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 20 วัน (ธเนศวร์, 2541) ผลมะม่วงพันธุ์ Kesington ที่ผ่านไอน้ำร้อนจนกระทั่งผลมะม่วงมีอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และผลมะม่วงที่จุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปผ่านไอน้ำร้อนจนกระทั่งผลมะม่วงมีอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 10 วัน การให้ความร้อนมีผลทำให้มะม่วงมีสีคล้ำขึ้น แต่ผลมะม่วงที่ผ่านไอน้ำร้อนจะเกิดจุดที่เลนติเซลล์ (lenticel) และผิวมีสีน้ำตาล ผลมะม่วงที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนร่วมกับการผ่านไอน้ำร้อนจะให้คุณภาพดีที่สุด (Jacobi and Giles, 1997)

5. การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิสลับ (intermittent warming)

การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำสลับกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลาสั้นๆ สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ การใช้อุณหภูมิสูงสลับกับอุณหภูมิต่ำในระหว่างการเก็บรักษา เป็นการรบกวนกระบวนการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยที่อุณหภูมิสูงเหนือจุดวิกฤตสำหรับการเกิดอาการสะท้านหนาว สามารถทำให้เนื้อเยื่อพ้นจากสภาพเครียดเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ หรืออาจทำให้เกิดอาการรุนแรงมากขึ้น จะขึ้นอยู่กับระยะของการเกิดอาการ การเพิ่มอุณหภูมิในสภาพปกติชักนำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้นเร็ว แต่ในสภาพที่พืชกำลังได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำในระยะแรก (primary phase) จะมีผลให้เมมเบรนซ่อมแซมตัวเอง และกระบวนการเมแทบอลิซึมกลับสู่สภาพปกติ (Hatton, 1990) ซึ่งอาจรวมถึงการสังเคราะห์กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ส่งผลให้เนื้อเยื่อสามารถทนต่ออุณหภูมิต่ำได้มากขึ้น (Wang, 1990) การใช้อุณหภูมิต่ำสลับอุณหภูมิสูงสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ตลอดอายุการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (เพ็ญวิภา, 2541) เช่นเดียวกับวีรินทร์ (2535) ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิสลับต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่ามีผลต่อการเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาการสะท้านหนาว คือ สีเนื้อใกล้ endocarp มีสีน้ำตาลแดง และผลมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้นานที่สุดคือ 26 วัน โดยไม่เกิดอาการสะท้านหนาว แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 22 วัน

6. การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมีบางชนิดกับพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว จะทำให้พืชเกิดความต้านทานได้ เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เช่น การรมผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ด้วย 1- methylcyclopropene (1-MCP) ความเข้มข้น 100 นาโนลิตรต่อลิตร เป็นเวลา 6-24 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดอาการสะท้านหนาวที่เนื้อผลอะโวกาโดได้ แต่ไม่สามารถลดอาการสะท้านหนาวที่ผิวได้ (Woolf, 2005) และการรมผลแอปเปิลพันธุ์ Red Delicious และ Granny Smith ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดอาการสะท้านหนาวที่ผิวผลแอปเปิลได้ (Golding *et al.*, 2005) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่แช่แคลเซียมคลอไรด์ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 600 หรือ 450 มิลลิเมตรปรอท และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 600 มิลลิเมตรปรอท ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน ช่วยชะลออาการสะท้านหนาวได้ (ธเนศวร์, 2541)

เมทิลจัสโมเนต (methyl jasmonate; MJ)

MJ เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดจัสโมนิก ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในพืชตามธรรมชาติ พบครั้งแรกในดอกมะลิ MJ เป็นสารประกอบสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lypoxygenase; LOX) ในพืชบางชนิด MJ ทำหน้าที่คล้ายกรดแอบซิสซิก (abscisic acid ; ABA) (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2006) และการทำงานของ MJ หรืออนุพันธ์ของกรดจัสโมนิก ในพืชแต่ละชนิดและแต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกันดังนี้

1. ผลของ MJ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี

1.1 **การสูญเสียน้ำหนัก** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2000)

1.2 **ความแน่นเนื้อ** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 **สี** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Kent ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ เมื่อผลสุกเปลือกมีสีแดง และเนื้อมีสีเหลืองเข้มกว่าผลมะม่วงที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ และชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2001)

1.4 **ค่าพีเอช** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน มีค่าพีเอชไม่ต่างจากชุดควบคุม แต่เมื่อนำผลมะม่วงมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน มีค่าพีเอชสูงกว่าชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2000)

1.5 **ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ (González-Aguilar *et al.*, 2000) และพันธุ์ Kent ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ (González-Aguilar *et al.*, 2001) เมื่อผลสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม และผลสตรอเบอรี่ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7.5 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ สูงกว่าผลสตรอเบอรี่ชุดควบคุม (Ayala-Zavala *et al.*, 2005) และผลมะม่วงพันธุ์ Kent ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-5} M ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2001)

1.6 **ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้** แต่ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวางไว้ให้สุก ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ไม่แตกต่างจากผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2000)

2. เร่งกระบวนการและกิจกรรมต่างๆ

2.1 **กระบวนการสลายสีเขียว** เช่น ผลแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 8 ส่วนในล้านส่วน เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน เปลือกผลแอปเปิลมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าผลแอปเปิลที่ไม่ได้รมด้วยไอสารละลาย MJ ถึง 3 เท่า แต่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ a และ b ลดลงมากกว่าผลแอปเปิลที่ไม่ได้รมด้วยไอสารละลาย MJ (Pérez *et al.*, 1993)

2.2 **กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน** เช่น ผลแอปเปิลพันธุ์ Golden Delicious ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-6} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Fan *et al.*, 1998) และผลแอปเปิลพันธุ์ Summer red ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2×10^{-7} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Fan *et al.*, 1997) มีการสังเคราะห์เอทิลีนสูงกว่าผลแอปเปิลที่ไม่ได้รมด้วยไอสารละลาย MJ 3-5 เท่า

2.3 **กระบวนการสุก** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Kent ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-5} M ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีการพัฒนาการสุกปกติ ในขณะที่ผลมะม่วงชุดควบคุมมีการสุกผิดปกติ (González-Aguilar *et al.*, 2001)

2.4 **กระบวนสังเคราะห์แอนโทไซยานิน** เช่น ผลสตรอเบอรี่ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7.5 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงช้ากว่าผลสตรอเบอรี่ชุดควบคุม (Ayala-Zavala *et al.*, 2005)

2.5 **กระบวนการสังเคราะห์สารฟีนอล** เช่น ผลสตรอเบอรี่ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7.5 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าผลสตรอเบอรี่ชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 วัน (Ayala-Zavala *et al.*, 2005)

2.6 **ปรับปรุงคุณภาพโดยรวม** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวางไว้ให้สุกมีคุณภาพโดยรวมดีกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2000)

2.7 **กระบวนการสังเคราะห์พอลีเอไมด์** เช่น ผลซูกินีที่จุ่มด้วยสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-3} และ 5×10^{-4} โมลาร์ มีปริมาณพอลีเอไมด์สูงกว่าชุดควบคุม (Wang and Buta, 1994)

2.8 **กิจกรรมของเอนไซม์** เช่น ผลฝรั่งที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} และ 10^{-5} โมลาร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อย้ายมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสสูงกว่าผลฝรั่งชุดควบคุม (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2004) ผลมะเขือเทศที่ได้รับ สารละลาย MJ มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงกว่าชุดควบคุม (Koussevitzky *et al.*, 2004)

3 ลดอาการต่างๆ

3.1 การแสดงอาการสะท้านหนาว เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Kent ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีอาการสะท้านหนาวที่ผิวน้อยกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2001) ผลซูกินีที่จุ่มด้วยสารละลาย MJ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้น 5 x 10^{-4}M ต้านทานอาการสะท้านหนาวได้ดีกว่า ความเข้มข้น 10^{-3}โมลาร์ และชุดควบคุม (Wang and Buta, 1994)

3.2 **การรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์** เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่รมด้วยไอสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกน้อยกว่าผลมะม่วงชุดควบคุม (González-Aguilar *et al.*, 2000)

3.3 การเสื่อมสภาพ เช่น การจุ่มผลซูกินี่ในสารละลาย MJ ความเข้มข้น 10^{-6} โมลาร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ชะลอการเสื่อมสภาพได้ดีกว่าชุดควบคุม (Ananieva *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved