บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะม่วง (Mango : *Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบอินเดียถึงพม่า โดยมีศูนย์กระจายพันธุ์อยู่ในอินโดจีน มาเลเซีย และอินโดนีเซีย และมีการกระจายพันธุ์อย่างช้าๆ ไปยังส่วนต่างๆ ของโลก (เฉลิมชัย, 2539) สำหรับประเทศไทยนั้นมะม่วงเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการผลิตเพื่อการส่งออก พันธุ์ที่ได้รับการส่งเสริมแบ่งเป็นประเภทบริโภคผลสุก ได้แก่ น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน และทองดำ ประเภทบริโภคผลดิบ ได้แก่ เขียวเสวย แรด ฟ้าลั่น ทองดำ และหนองแซง ประเทศที่นำเข้ามะม่วงจากไทยแบ่งเป็นกลุ่มๆ ดังนี้ กลุ่มประชาคมยุโรป ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ ฝรั่งเศส สวีเดน อิตาลี เยอรมันตะวันตก อังกฤษ สวิสเซอร์แลน กลุ่มประเทศเอเชีย ได้แก่ ฮ่องกง สิงคโปร์ และมาเลเซีย และประเทศอื่นๆ เช่น ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา เป็นต้น (จิรา, 2534) จะเห็นได้ว่ามะม่วงเป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ พื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2549 จำนวน 1.9 ล้านไร่ สามารถให้ผลิตผลรวม 2 ล้านตันต่อปี (เครือข่ายวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว, 2549) ด้านการส่งออก ประเทศไทยส่งออกมะม่วงในรูปต่างๆ ได้แก่ มะม่วงบรรจุภาชนะอัดลม มะม่วงสดหรือแห้ง และมะม่วงแช่แข็ง รวมทั้งหมดเป็นปริมาณ 24,513,440 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 815,552,159 บาท (สถาบันอาหาร, 2549)

สำหรับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองนั้นจะมีผิวเป็นสีเหลืองอ่อนคล้ายมะม่วงสุกทั้งที่ยังอ่อนอยู่ ซึ่งผลมะม่วงทั่วไปจะมีสีเขียว ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีผิวที่หนากว่าผิวผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ส่งผลให้ป้องกันการบอบช้ำและต้านทานโรคแอนแทรกโนสได้ดีกว่าผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 รสชาติผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเมื่ออ่อนมีรสเปรี้ยว ผลแก่มีรสมัน เนื้อกรอบ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 17-18 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาบ่มให้สุกจะมีกลิ่นหอมและรสหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 18-23 เปอร์เซ็นต์ เนื้อไม่มีเสี้ยน เนื้อมีสีเหลืองเมล็ดบาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 300-400 กรัม ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น (นิทยา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เลนติเซล

เลนติเซล (lenticel; มาจากภาษาลาติน lenticella = แว่นเล็กๆ) เป็นรอยแผลแตกตามยาวที่มีลักษณะเป็นรูปแว่นหรือเลนซ์ (lens) ตามผิวลำต้น ราก (พวงผกา, 2548) และผลของผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิล สาลี่ อโวกาโด และมะม่วง (Bezuidenhout, 2005) เกิดขึ้นขณะที่พืชสร้างเซลล์คอร์ก สามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 2 แบบ คือ

1. เกิดจากเซลล์พาเรงคิมา (parenchyma) บริเวณใต้ปากใบ

ในขณะที่ต้นยังอ่อนหรือมีการเจริญในระยะปฐมภูมิตามลำต้นจะมีช่องเปิดเป็นปากใบอยู่ทั่วไป เซลล์พาเรงคิมา ประมาณ 4-5 เซลล์ที่อยู่ใต้ปากใบจะมีการแบ่งตัวจากบนลงล่าง โดยเซลล์ที่อยู่ด้านบนจะหยุดการแบ่งเซลล์ก่อนขณะที่เซลล์ที่อยู่ด้านล่างจะแบ่งตัวไปเรื่อยๆ จนได้เซลล์จำนวนมาก เซลล์ที่อยู่ล่างสุดมีลักษณะคล้ายแคมเบียมจึงเรียกว่า เลนติเซลแคมเบียม (lenticel cambium หรือ lenticel phellogen) ส่วนนี้จะอยู่ติดกับคอร์กแคมเบียม ส่วนที่อยู่ชั้นบนๆ เป็นเซลล์พาเรงคิมาเรียกว่า เนื้อเยื่อคอมพลิเมนทารี (complementary tissue หรือ filling tissue) ที่มีช่องเปิดเป็นปากใบมาก่อนนั่นเอง

2. เกิดจากคอร์กแคมเบียม (cork cambium)

เลนติเซลที่เกิดจากการแบ่งตัวและเปลี่ยนแปลงของคอร์กแคมเบียม ซึ่งจะเกิดบริเวณใดก็ได้ ในขณะที่คอร์กแคมเบียมแบ่งเซลล์เข้าด้านในเพื่อให้เฟลโลเดิร์มที่เป็นเซลล์พาเรงคิมา และแบ่งเซลล์ออกด้านนอกเพื่อสร้างคอร์ก จะมีเซลล์บางกลุ่มที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์คอร์ก แต่เป็นเซลล์พาเรงคิมาจำนวนมากเป็นเนื้อเยื่อคอมพลิเมนทารีเช่นเดียวกัน เซลล์กลุ่มนี้เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ มีช่องว่างระหว่างเซลล์จำนวนมาก ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นไปอย่างสะดวก ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส ที่ไม่มีการสะสมซูเบอรินจึงทำให้มีลักษณะบาง เมื่อได้รับความชื้นทำให้น้ำซึมเข้าง่าย เซลล์ขยายตัวดันเซลล์อื่นๆ ในชั้นคอเทกซ์และเนื้อเยื่อผิวแตกออกเป็นช่องเปิดเลนติเซล (พวงผกา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ของเลนติเซลกับความแก่

ความแก่ในทางการค้าจะอยู่ในระดับใดขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและความต้องการของตลาด (จริงแท้, 2544) ในผลไม้ประเภท climacteric หลายชนิด เช่น มะม่วง กล้วย ทุเรียน ฯลฯ ควรเก็บเกี่ยวในระยะแก่จัดนำมาบ่มให้สุก จะได้คุณภาพดีกว่าการปล่อยให้สุกบนต้น วิธีประเมินระยะความแก่ของผลิตผลได้แก่ การพิจารณาสีผิว ขนาดและรูปร่าง ลักษณะทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น ในมะม่วงนั้นใช้วิธีประเมินระยะความแก่โดยใช้รูปร่างผลจะมีเนื้อนูนเต็มทั้งสองด้านของผล เกิดเลนติเซลเด่นชัดขึ้นที่ผิว มีการเจริญของเส้นใยที่ติดกับ

เมล็ด นอกจากนี้อาจใช้วิธีการวัดความถ่วงจำเพาะหรือวัดปริมาณสตาร์ช (starch) ในเนื้อ (นิธิยา และดนัย, 2548) ในประเทศเคนยา นอกเหนือจากขนาด รูปร่าง สีผิวและน้ำหนักผลแล้ววิธีประเมินระยะความแก่จะสังเกตจากลักษณะของเลนติเซลประกอบด้วย เช่น มะม่วงพันธุ์ Chino เมื่อผลแก่เลนติเซลจะมีจำนวนน้อยและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล พันธุ์ Dodo มีเลนติเซลจำนวนมากและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล พันธุ์ Gesine เลนติเซลเปลี่ยนจากสีขาวเป็นเขียวถึงสีน้ำตาล พันธุ์ Keith และพันธุ์ Van Dyke เลนติเซลมีสีขาวหรือเหลือง พันธุ์ Kent เลนติเซลมีสีเหลืองขนาดเล็กกระจายทั่วผล พันธุ์ Sensation เลนติเซลมีสีเหลืองอ่อน พันธุ์ Tommy Atkins เลนติเซลมีสีขาวกระจายรอบๆ ปลายผล พันธุ์ Zill เลนติเซลมีสีเหลืองหรือน้ำตาล (Griesbach, 2003) นอกจากนี้พบว่าการเกิดเลนติเซลที่ผิวผลสามารถเป็นดัชนีที่บ่งชี้ความแก่ของอโวคาโดพันธุ์ Florida ได้อย่างแม่นยำ (Thurman and Campbell, 1959)

การเก็บรักษาผลมะม่วง

ปัญหาที่สำคัญในระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วง คือ การเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit เมื่อผลมะม่วงแก่จัด หรือเริ่มสุก จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น (สายชล, 2530) แต่มีอายุการเก็บรักษาสั้น จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ ตลอดจนอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปผลมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 2-3 สัปดาห์ (Kader, 2000) ส่วนผลมะม่วงส่งออกของไทยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13-15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ได้นาน 2 สัปดาห์ (ทวีศักดิ์, 2547) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้เกิดความเสียหายและความผิดปกติ ซึ่งอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเซลล์ ที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเป็นเวลานานๆ เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ซึ่งอาการดังกล่าวเป็นข้อจำกัดในการเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (Kader, 2000) โดยระยะเวลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความรุนแรงของอาการ ลักษณะอาการที่พบเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว คือ เลนติเซลมีสีผิดปกติ (Ben *et al*., 2000) มีการสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวมีรอยช้ำ จุดคล้ำ มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Kara *et al*., 1995) การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและเคมีของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การเก็บรักษาอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงไม่แสดงอาการสะท้านหนาว สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 20 วัน และสามารถสุกได้ที่อุณหภูมิห้อง (Tungtirmthong *et al*., 2001) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในระยะผลดิบเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กระทั่งผลสุก พบว่าแสดงอาการสะท้านหนาว ในขณะที่ผลมะม่วงที่บ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก๊าซอะเซทิลีนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ไม่พบอาการสะท้านหนาว (Whangchai *et al*., 1999) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีความอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 (เสาวภา, 2547)

อาการสะท้านหนาว

ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.5 องศาเซลเซียส จะอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว และความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวมิได้เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำแข็งขึ้นภายในเซลล์ จึงแตกต่างจากอาการ freezing injury พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งส่วนต่างๆ ของพืชจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำด้วย ยกเว้นพืชที่มีเมล็ดแก่และแห้งแล้วเท่านั้น อาการสะท้านหนาวอาจเกิดขึ้นได้ ตั้งแต่อยู่ในสวน ระหว่างการขนส่ง ระหว่างการเก็บรักษา ระหว่างการขายส่งและขายปลีก หรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านทั่วๆ ไป อย่างไรก็ตาม ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในเขตอบอุ่นบางชนิดอาจอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน (ดนัย, 2540)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว

ระยะความแก่

ระยะความแก่ของผลไม้มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้แตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่ยังไม่แก่ถ้าผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวอาจทำให้ผลไม้ไม่สุก หรืออาจสุกได้คุณภาพไม่ดี เช่น ผลมะเขือเทศที่อยู่ในระยะแก่จัดสีเขียว จะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะเขือเทศที่อยู่ในระยะสุกแล้ว (Mohammed and Brathwaite, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว ผลไม้ทั่วไปในเขตร้อนจะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว หากถูกเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดวิกฤตของผลไม้นั้น และอุณหภูมิที่ชักนำให้เกิดอาการสะท้านหนาวในมะม่วง คือ อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส (Tasneem, 2004) อีกทั้งความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ผลมะม่วงได้รับอุณหภูมิต่ำ (ดนัยและนิธิยา, 2535) ถ้าอุณหภูมิต่ำมากและสัมผัสอยู่นานอาการจะเกิดขึ้นมาก แต่ถ้าอุณหภูมิไม่ต่ำมากและสัมผัสอยู่ไม่นานอาการจะเกิดขึ้นน้อย นอกจากนี้ปัจจัยทั้งภายในและภายนอกต้นพืชมีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว เนื้อเยื่อต่างชนิดภายในต้น

พืชเดียวกันก็เกิดอาการได้ไม่เท่ากัน พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันเกิดอาการได้ต่างกัน (จริงแท้, 2549) เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จะอ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่าผลมะม่วงพันธุ์อกร่อง (Phakawatmongkol *et al*., 2004)

ลักษณะทางพันธุกรรม

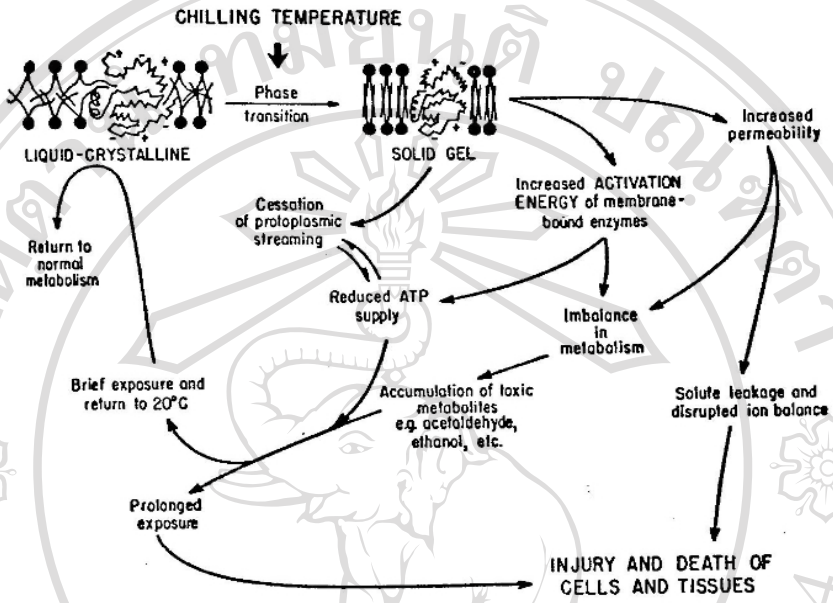
ผลไม้ที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างกันมีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำได้แตกต่างกัน ผลไม้เขตหนาว เช่น ท้อ และแอปเปิล จะสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลไม้เขตร้อน เช่น มะม่วง มะละกอ ทุเรียน เงาะ ผลไม้เขตกึ่งร้อน เช่น ลิ้นจี่ ลำไย หรือพันธุ์ต่างกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำแตกต่างกันด้วย ผลมะม่วงพันธุ์แก้ว ทองดำ น้ำดอกไม้ และหนังกลางวัน ไม่สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 5 วัน เนื่องจากเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะแสดงอาการสะท้านหนาวที่ผิว ผลมะม่วงพันธุ์แรดและอกร่องสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 15 วัน และ 25 วัน ตามลำดับ (Phakawatmongkol *et al*., 2004)

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาว

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีข้อสันนิษฐานว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์บางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป ส่งผลให้เกิดกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ และส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย และเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์อื่นๆ มีองค์ประกอบเช่นเดียวกัน คือ ประกอบด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิด และโปรตีน เยื่อหุ้มเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งที่เกิดของกระบวนการสำคัญต่างๆ เช่น การหายใจ และการสังเคราะห์แสง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล เยื่อหุ้มต่างๆ เหล่านี้จะเสื่อมสภาพลง ทำให้สารตั้งต้นต่างๆ มีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม ทำให้เซลล์ขาดสมดุลและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาการสะท้านหนาวอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันนั้น มีผู้สันนิษฐานว่าเกิดเนื่องจากกรดไขมันที่เป็น side chain ในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเหล่านี้ต่างกัน กล่าวคือพวกที่เกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มต่างๆ และจะเปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่เป็นของเหลว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะเจลแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เสื่อมลง ส่วนในผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็สามารถคงสภาพอยู่ได้ (จริงแท้, 2538) (จริงแท้, 2544)



ภาพ 2.1 สมมุติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2538)

ลักษณะของอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน การเกิดอาการสะท้านหนาวเป็นผลมาจากการได้รับอุณหภูมิต่ำ และอาการจะรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่พืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ อาการสะท้านหนาวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังต่อไปนี้ (จริงแท้, 2549)

1. เลนติเซลมีสีผิดปกติ (lenticel spotting) เกิดบริเวณรอบๆ เลนติเซล ซึ่งพบว่ารอบๆ เลนติเซลเปลี่ยนเป็นสีแดง พบได้ในมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins และ Keitt (Pesis *et al*., 2000) หรืออาจเปลี่ยนเป็นสีเขียว (Ben *et al*., 2000)

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

3. อาการฉ่ำน้ำ (water soak) เมื่อเนื้อเยื่อเกิดความเสียหาย ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารจากเซลล์เกิดความผิดปกติไป ทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ซึมออกมายัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ช่องว่างระหว่างเซลล์ ส่งผลให้ผิวของผลิตผลเกิดการเหี่ยว เนื่องจากเซลล์บริเวณผิวผลเกิดการสูญเสียน้ำ และเกิดอาการฉ่ำน้ำขึ้น เช่น แตงกวา มะละกอ และสับปะรด (Wang, 1990) ผลมะม่วงโชคอนันต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จะปรากฏอาการฉ่ำน้ำในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (เพ็ญวิภา, 2541)

4. สีของเนื้อและเปลือกเปลี่ยนไป เนื้อของผลไม้บางชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ จะเปลี่ยนจากสีปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ท่อน้ำและท่ออาหาร การเปลี่ยนสีในลักษณะนี้อาจเป็นเพราะกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenoloxidase (PPO) ที่ออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชบางชนิด ระบบท่อน้ำ ท่ออาหารอาจจะกลายเป็นสีน้ำตาลได้ สีที่เปลือกมักจะเปลี่ยนไปในทางที่คล้ำลงจากเดิม เมล็ดอาจจะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ที่ผิวผล ขณะที่ผลมะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่เนื้อผลติด endocarp และอาการสะท้านหนาวเกิดรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ไม่แสดงอาการดังกล่าว (สุกันยา, 2539 ; Chidtrakool and Ketsa, 2005) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่ผิวผล โดยมีสีคล้ำกว่าปกติและเกิดจุดสีม่วงที่เปลือก (จิรภรณ์, 2545) ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวที่ผิวผล

5. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีสารเมแทบอไลต์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายต่อได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนย้าย และการวางจำหน่าย ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียมากขึ้นโดยเฉพาะกับผลไม้เขตร้อน การวัดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว และผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ในเนื้อเพิ่มขึ้น (ธเนศวร์, 2541)

6. มีการสุกที่ผิดปกติ ผลไม้บางชนิดที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางสรีรวิทยาแต่ยังไม่สุก จะมีความผิดปกติในการสุก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานๆ จะสูญเสียการพัฒนาด้านกลิ่นและรสชาติ เช่น การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ระยะแก่บริบูรณ์ เป็นเวลา14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว ก่อนนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และยังพบว่าสารระเหย (aroma volatile) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Herianus *et al.,*2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การเน่าเสียและเสื่อมสภาพ ผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ และการกระทบกระเทือนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เนื่องจากเซลล์ของพืชได้รับอันตรายจากอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เนื้อเยื่อนิ่มลงอันเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Wang, 1990) ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้มีการเกิดโรคมากขึ้น (ธเนศวร์, 2541)

8. อายุการเก็บรักษาสั้นลง เนื่องมาจากเหตุดังกล่าวข้างต้น

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

10. ขาดคุณสมบัติในการเจริญต่อเนื่อง เช่น ไม่สามารถงอกได้ ซึ่งส่งผลเสียไปถึงส่วนขยายพันธุ์ต่างๆ ของพืชที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เช่น การเก็บรักษาหน่อแซนเดอโซเนียที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 202 วัน จะไม่สามารถงอกได้ (Clark, 1994)

อาการดังกล่าวข้างต้นนั้น อาจเกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ระดับอุณหภูมิ และความรุนแรงของอาการ อุณหภูมิยิ่งต่ำกว่าจุดวิกฤตมากเท่าไร อาการสะท้านหนาวจะยิ่งเกิดรวดเร็วและรุนแรง (ดนัย, 2540)

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง จะเกิดที่เลนติเซลโดยเลนติเซลเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือเขียว (Ben *et al*., 2000) เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเทา ไม่สุกตามปกติ หรือสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวอาจไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อสุก เกิดรอยบุ๋ม และเน่าได้ง่าย นอกจากนี้ยังแสดงลักษณะเนื้อผลเป็นสีคล้ำ เนื้อผลที่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเทาหรือสีน้ำตาล กลิ่นและรสชาติผิดปกติ (สายชล, 2530 ; ดนัย, 2540)

การศึกษาอาการสะท้านหนาวในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

ผลมะม่วงจะแสดงอาการสะท้านหนาวทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 45 วัน (Whangchai *et al*., 1999) การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะแสดงอาการสะท้านหนาวภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน โดยที่เปลือกมีอาการเนื้อเยื่อยุบตัวเป็นจุดๆ และมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ที่เปลือกและเนื้อ (ศศธร, 2549) การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน จะแสดงอาการสะท้านหนาวที่เนื้อติดเมล็ด แต่ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน จะแสดงอาการสะท้านหนาวที่เปลือกและจะแสดงอาการรุนแรงขึ้นเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (สุกันยา, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะที่การเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน ไม่แสดงอาการสะท้านหนาว และยังมีการพัฒนาการสุกเมื่อย้ายผลมะม่วงมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะเก็บรักษาไว้ได้ 10 วัน (Tungtirmthong *et al*., 2001)

การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคเมื่อเกิดการสะท้านหนาว

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ทำให้ทราบว่าเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นแล้วเซลล์ในบริเวณที่เกิดอาการมักถูกทำลาย หรือสูญเสียรูปร่างเดิมไป ซึ่งมักพบว่าคลอโรพลาสต์สูญเสียรูปร่าง สีเขียวของคลอโรฟิลล์หายไป และเม็ดแป้งภายในลดลง และเมื่อทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าออร์แกแนลล์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ คลอโรพลาสต์ โดยจะพบการบวมของไทลาคอยด์ (thylakoid) เม็ดแป้งมีขนาดเล็กลง และมีการสร้างถุงเล็ก (vesicle) ขึ้นที่เยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำนานขึ้น อาจพบการสะสมของหยดไขมัน สโตรมา (stroma) เปลี่ยนเป็นสีคล้ำ กรานา (grana) คลายตัวลงจากที่เคยเรียงกันเป็นชั้น และในที่สุดเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์สลายตัวไป สำหรับไมโทคอนเดรียเกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า แต่เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจนคลอโรพลาสต์สูญเสียรูปร่างไปแล้ว ในที่สุดไมโทคอนเดรียก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดช่องว่างขึ้นภายในและเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียชั้นใน (cristae) ขยายขนาดขึ้น สำหรับนิวเคลียส พบการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย แต่เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำนานขึ้น พบว่าโครมาทิน (chromatin) รวมตัวกันแน่นขึ้น และพบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของนิวเคลียสบ้าง นอกจากนี้ก็อาจพบการขยายขนาดของกอลไจ (golgi) และการแยกตัวของเยื่อหุ้มต่างๆ เช่น ร่างแหเอนโดพลาซึม (endoplasmic reticulum) และการพองตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ (จริงแท้, 2549) ในท้อพันธุ์ ‘O’ Henry, Fairtime และ Autumn Gem เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน พบว่าผลท้อเกิดอาการสะท้านหนาวและพบความผิดปกติขึ้นภายในเซลล์ คือ ผนังเซลล์ (cell wall) ชั้นแรกแยกออกจากกันและมีลักษณะที่หนาขึ้น ช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) เพิ่มขึ้น และพบการสะสมของสารเพกตินเพิ่มมากขึ้นในของเหลวภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular matrix) อีกทั้งเกิดการสลายของผนังเชื่อมยึดระหว่างเซลล์ (middle lamella) (Luza *et al*., 1992) นอกจากนี้ผักและผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อเซลล์อย่างรุนแรง โดยทำให้ไมโตคอนเดรียเกิดอาการบวมและเมมเบรนผิดปกติ (Kovacs, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved