บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ลำไย (Longan) จัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์อยู่หลายชื่อคือ *Euphoria longana* Lam. ; *Euphoria longan* Strend.; *Nephelium longana* Camb. และ *Dimocarpus longan* Lour. มีจำนวนโครโมโซม 2n=30 (พาวิน, 2543) ลำไยจัดเป็นพืชยืนต้นที่มีลำต้นสูงขนาดปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นลำไยที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดมีลักษณะต้นตั้งตรง มีความสูงประมาณ 30-40 ฟุต แต่ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งมักจะแตกกิ่งก้านสาขาและมีต้นเตี้ยกว่าต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ต้นลำไยมีการเจริญเติบโตช่วงแรกหลังจากปลูกเริ่มด้วยการเจริญทางด้านกิ่งก้านสาขา (vegetative growth) เป็นระยะเวลา 3 ปี หลังจากนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นการเจริญเติบโตทางด้านสืบพันธุ์ (reproductive growth) เพื่อการติดดอกออกผล โดยทั่วไปแล้วผลลำไยมีลักษณะการเจริญเติบโตแบบ simple sigmoid growth curve เริ่มต้นจากการพัฒนาการเจริญของส่วนเมล็ดและเปลือก ตามด้วยการเจริญของส่วนเนื้อ ซึ่งมีลักษณะการเจริญเติบโตที่ผันแปรไปตามลำไยพันธุ์ที่แตกต่างกัน (ดาวเรือง, 2530)

เมื่อผลลำไยเจริญเติบโตถึงระยะความแก่ทางพืชสวนแล้วจึงจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ โดยมีหลักเกณฑ์การพิจารณาอยู่หลายอย่างด้วยกัน ซึ่งมีความแตกต่างกันในผลไม้แต่ละชนิด และนับว่าหลักเกณฑ์นี้มีความสำคัญมาก เพราะในระหว่างการเจริญเติบโตของผลลำไย ถึงแม้จะมีการดูแลรักษาดีเพียงใด เนื่องจากลำไยจัดเป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก (nonclimacteric fruit) หากเก็บเกี่ยวไม่ถูกระยะที่เหมาะสมแล้ว คุณภาพของผลิตผลที่ได้ภายหลังเก็บเกี่ยวอาจจะใช้ประโยชน์ไม่ได้เลยหรือมีคุณภาพต่ำ (จริงแท้, 2542) เช่น อาจจะเก็บเกี่ยวในระยะที่อ่อนเกินไปจะทำให้รสชาติไม่หวาน (Subhadrabandhu, 1990 ; Jiang *et al.*, 2002) การพิจารณาเรื่องนี้จึงอาศัยหลักเกณฑ์หรือตัวบ่งชี้ที่เรียกว่า ดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvesting index) ของผลลำไย

ดัชนีการเก็บเกี่ยวและวิธีการเก็บเกี่ยวผลลำไย

ผลลำไยที่มีการเจริญเติบโตมาถึงระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวแล้ว อาจพิจารณาจากการนับระยะเวลาตั้งแต่ดอกเริ่มบานจนถึงระยะผลแก่ใช้เวลาประมาณ 5-5 ½ เดือน ดังตารางที่ 2 และจะมีความผันแปรไปตามฤดูกาล พื้นที่ปลูก และพันธุ์ (พาวิน, 2543 ; จริงแท้, 2542 ; ดาวเรือง, 2530 ; Tongdee, 1997) และนอกจากนี้ยังอาจใช้ดัชนีอื่นๆ เป็นตัวบ่งชี้ถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการ

เก็บเกี่ยวผลลำไยได้ เช่น สังเกตจากลักษณะทางกายภาพ คือผิวเปลือกด้านนอกเรียบ (พาวิน, 2543) และมีสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลอ่อน เปลือกด้านในมีเส้นคล้ายร่างแห เมล็ดมีสีดำ หรือมีน้ำหนักผลอยู่ในช่วง 5-20 กรัมซึ่งมีความผันแปรในแต่ละพันธุ์ด้วย (Jiang *et al.*, 2002) หรืออาจพิจารณาจากลักษณะทางเคมี เช่น การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ปกติจะอยู่ในช่วง 16-22 เปอร์เซ็นต์ (พาวิน, 2543) ส่วนประกอบทางเคมีของผลลำไย ดังในตารางที่ 3 (Paull and Chen, 1987)

ตารางที่ 2 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้บางชนิด

ชนิดพืช	ดัชนีการเก็บเกี่ยว	
	ระยะเวลา	ดัชนีอื่นๆ
ละมุด	6-7 เดือน ภายหลังดอกบาน	ขี้ไคลน้อย ผิวเริ่มเปลี่ยนสี style หลุด
ลิ้นจี่"โอเฮียะ", "กิมเจ็ง"	65-75 วัน ภายหลังดอกบาน	หนามแหลมน้อยลง
ลิ้นจี่"ฮงฮวย"	55-65 วัน ภายหลังดอกบาน	ร่องหนามแยก
ลำไย	5 เดือน ภายหลังดอกบาน	ผิวคล้ำเรียบ
ส้มเขียวหวาน	9.5-10.5 เดือน ภายหลังดอกบาน	เริ่มมีสีเหลือง ของแข็งที่ละลายน้ำได้ 8.0-8.8%
ส้มตรา	7.5-8.5 เดือน ภายหลังดอกบาน	เริ่มมีสีเหลือง ของแข็งที่ละลายน้ำได้ 9.5-10.0%
สตรอเบอรี่	27-30 วัน ภายหลังดอกบาน	สีแดง 60-80 %
สับปะรด"ปัตตาเวีย"	6 เดือน ภายหลังจากให้สาร 110 วัน ภายหลังดอกบาน	เริ่มมีสีเหลือง, ตาเปิด 2-3 ตา, ของแข็งที่ละลายน้ำได้ <16%

ที่มา : ดัดแปลงจาก จริงแท้ (2542)

การเก็บเกี่ยวผลลำไยมักเริ่มเก็บตั้งแต่ตอนเช้าจนถึงตอนบ่าย มีการใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยใช้บันไดหรือพะองเป็นอุปกรณ์ในการปีนขึ้นไปหักช่อผล ในระหว่างเก็บผลลำไยนั้นถ้าช่อผลอยู่ไกลมือไม่สามารถเอื้อมมือไปถึงก็จะใช้ตะขอดึงกิ่ง แล้วโน้มกิ่งมาหักช่อผล จากนั้นนำผลที่เก็บได้มาใส่ในเข่งที่ผู้เก็บนำขึ้นไปด้วย เมื่อผลลำไยเต็มเข่งแล้วจึงหย่อนเข่งลงมาข้างล่าง เพื่อเปลี่ยนเข่งใหม่ขึ้นไปทดแทน (พาวิน, 2543) ผลลำไยที่เก็บเกี่ยวได้แล้วจะถูกนำมาตัดแต่งใบ หักก้านที่ไม่มีผล คัดผลที่เล็กลีบ และผลเสียหายออก ส่วนผลที่มีก้านจะถูกตัดก้านผลให้แต่ละช่อยาว

ประมาณ 5 นิ้ว โดยคัดและตกแต่งผลภายใต้เพิงคัดบรรจุที่อยู่ในบริเวณสวน หลังจากนั้นบรรจุใส่ลงในภาชนะบรรจุ (Subhadrabandhu, 1990) ภาชนะบรรจุที่ใช้เพื่อนำไปจำหน่ายในปัจจุบันมีดังนี้ (พาวิน, 2543 ; Jiang *et al.*, 2002)

1. ตะกร้าพลาสติก ในปัจจุบันการส่งออกผลลำไยนิยมบรรจุในตะกร้าพลาสติก ซึ่งบรรจุผลลำไยได้ 10-11 กิโลกรัม
2. เข่งไม้ไผ่ ใช้สำหรับขนส่งเพื่อจำหน่ายในตลาดภายในประเทศ
3. กล่องกระดาษ กล่องกระดาษที่ใช้สำหรับบรรจุลำไยสด จะมีขนาดบรรจุลำไยได้ประมาณ 10 และ 15 กิโลกรัม

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยว

ส่วนประกอบทางเคมี	ปีที่ศึกษา	
	2526	2527
เนื้อผล (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	19.80 ±0.20	16.50 ±0.70
เปลือกผล (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	35.70 ±0.60	35.60 ±0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (เปอร์เซ็นต์)	20.10 ±0.10	18.30 ±0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	184.00 ±7.00	154.00 ±11.00
ซูโครส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	72.00 ±15.00	29.00 ±3.00
กลูโคส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	22.00 ±17.00	17.00 ±1.00
ฟรุคโตส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	28.00 ±17.00	23.00 ±1.00
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (มิลลิสมมูลต่อกรัม)	2.30 ±0.10	2.10 ±0.10
พีเอช	6.20 ±0.10	6.40 ±0.10
กรดซิตริก (มิลลิสมมูลต่อกรัม)	0.13 ±0.01	0.12 ±0.01
กรดมาลิก (มิลลิสมมูลต่อกรัม)	0.89 ±0.16	0.35 ±0.07
กรดซัคซินิค (มิลลิสมมูลต่อกรัม)	1.85 ±0.19	1.15 ±0.11
กรดแอสคอร์บิค (มิลลิสมมูลต่อกรัม)	2.00 ±0.20	1.40 ±0.20
ปริมาณของฟีนอลทั้งหมด (มิลลิสมมูลต่อกรัม)	0.80 ±0.10	0.50 ±0.10

ที่มา : Paull and Chen (1987)

การเก็บรักษา

ผลิตผลทางพืชสวนเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วจะเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งจะส่งผลทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นวิธีการชะลอการสูญเสีย หรือยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลจึงมีบทบาทสำคัญมาก โดยที่ผลิตผลยังมีคุณภาพดีใกล้เคียงกับเมื่อเก็บเกี่ยวใหม่ๆ การเก็บรักษาที่จะได้ผลดีนั้นต้องเริ่มจากการที่ผลิตผลมีคุณภาพดีตั้งแต่เมื่อเก็บเกี่ยว เพราะผลิตผลที่มีคุณภาพต่ำขณะเก็บเกี่ยวมักเสื่อมคุณภาพได้ง่ายและรวดเร็ว ถึงแม้ว่าสามารถที่จะเก็บรักษาได้นาน แต่ราคาขายที่ได้ก็อาจจะไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในการเก็บรักษา ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม มีความบริบูรณ์พอเหมาะตรงกับความต้องการของผู้บริโภค การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติอื่นๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยวต้องทำด้วยความระมัดระวังอย่าให้ผลิตผลชอกช้ำเสียหาย การเก็บรักษาผลิตผลจึงจะประสบผลสำเร็จ (เพชรดา, 2540) และนอกจากนี้ในช่วงระหว่างการเก็บรักษานั้น อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญมาก โดยมีผลต่ออัตราเมตาบอลิซึมของผลิตผล ถ้าอุณหภูมิลดต่ำลงจะส่งผลทำให้อัตราเมตาบอลิซึมลดต่ำลงด้วย ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ส่วนใหญ่แล้วการเก็บรักษาผลิตผลมักนิยมใช้อุณหภูมิต่ำโดยการเก็บรักษาในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็ง เพื่อยังคงคุณภาพและ ลดปริมาณการเน่าเสียให้น้อยที่สุด ผลิตผลแต่ละชนิดมีระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแตกต่างกันและผันแปรตามพันธุ์และแต่ละส่วนของพืชด้วย (Marangoni *et al.*, 1996)

สำหรับการเก็บรักษาผลลำไยนั้นมักจะเก็บรักษาภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 % สามารถเก็บรักษาได้นาน 5-6 สัปดาห์ (จริงแท้, 2542) ถ้าเก็บรักษาภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่านี้จะส่งผลทำให้เกิดอาการฉ่ำน้ำ (water soaking) และเกิดการเน่าเสีย แต่ถ้าเก็บรักษาภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่านี้จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและเป็นสาเหตุทำให้ผิวเปลือกนอกแห้ง (Jiang *et al.*, 2002) ส่วน Kader (2001) รายงานว่าผลลำไยมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ±1 องศาเซลเซียสได้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ด้วย หากเก็บรักษาภายใต้สภาพอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้จะทำให้ผลลำไยเกิดอาการสะท้านหนาวได้ ซึ่งความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บรักษา พันธุ์ ความแก่ และปริมาณธาตุอาหารภายในผล (ดนัย, 2540)

ลักษณะอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช เนื่องจากได้รับอุณหภูมิต่ำแต่ต้องเป็นอุณหภูมิต่ำในระดับที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลนั้น (ดนัย, 2540) ส่วนใหญ่แล้วอาการสะท้านหนาวมักเกิดกับพืชที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน เช่น กล้วย มันเทศ ส้ม มะเขือเทศ มะม่วง และลำไย เป็นต้น (Wang, 1990) โดยพืชที่มีแหล่งกำเนิดต่างกันมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวต่างกันดังนี้ พืชที่มีแหล่งกำเนิดในเขตหนาวมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวน้อยที่สุด พืชที่มีแหล่งกำเนิดในเขตกึ่งร้อนและร้อนมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นตามลำดับ สำหรับพืชที่มีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้นจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดทุกระยะการเจริญเติบโต โดย Wang (1990) รายงานว่าอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นได้ 2 ช่วง คือช่วงที่หนึ่งเกิดขึ้นได้ในระยะที่ยังอยู่ในแปลงปลูก มักเกิดกับพืชเขตหนาวที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว ซึ่งเกิดขึ้นได้ทุกระยะของการเจริญเติบโต ยกเว้นระยะพักตัวและระยะเมล็ดแก่ที่แห้งแล้วเท่านั้น เช่น การเกิดอาการสะท้านหนาวของต้นฝ้าย การเกิดอาการสะท้านหนาวในช่วงการงอกของต้นมะเขือเทศและช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด ส่วนช่วงที่สองจะเกิดอาการสะท้านหนาวในระยะหลังการเก็บเกี่ยว อาจเกิดได้ในช่วงของการขนส่งหรือช่วงการเก็บรักษาที่ตลาดขายส่งและขายปลีกหรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านเรือนทั่วไป เพราะว่าโดยส่วนใหญ่แล้วมักนิยมใช้อุณหภูมิต่ำในการขนส่งหรือเก็บรักษาเพื่อชะลออัตราเมตาบอลิซึมให้ช้าลง อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงหรือไม่นั้นขึ้นกับระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการได้รับอุณหภูมิต่ำ ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำในระดับไม่ต่ำมากนักและช่วงเวลาสั้นๆ พืชนั้นยังคงสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อนำกลับมายังอุณหภูมิปกติ และนอกจากนี้พืชจะมีความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำได้ต่างกันถึงแม้จะเป็นผลิตผลชนิดเดียวกัน แต่ต่างพันธุ์กัน เพราะมีความผันแปรทางพันธุกรรมของพืช เช่น Collins and Tisdell (1995) ได้ศึกษาการใช้อุณหภูมิ 0, 5, 10 และ 20 องศาเซลเซียส ทั้งก่อนและหลังการใช้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน ก่อนการเก็บรักษาผลพลับพันธุ์ Fuyu และ Suruga พบว่าพันธุ์ Suruga เกิดอาการสะท้านหนาวน้อยกว่าพันธุ์ Fuyu และนอกจากนี้ผลิตผลพันธุ์เดียวกัน แต่เป็นคนละชิ้นส่วนกันก็มีความต้านทานต่างกัน หรืออาจเป็นพันธุ์เดียวกัน ส่วนเดียวกัน แต่อายุต่างกัน ก็มีความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ต่างกันด้วยลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดที่ได้รับอุณหภูมิต่ำมีความแตกต่างกัน อาการมักจะเกิดรุนแรงเมื่อนำผลิตผลออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว อาการที่เกิดขึ้นกับผลิตผลพอจะสรุปได้ดังนี้ (ดนัย, 2540)

1. Surface pitting เป็นลักษณะอาการที่ผิวของผลิตผลยุบตัวลงเป็นแห่งๆ อาจยุบตัวเป็นรูปร่างทรงกลมหรือรูปร่างไม่แน่นอน และมีสีผิดปกติไปจากเดิม (Salveit and Morris, 1990 ; Morris, 1982) นอกจากนั้นผลิตผลจะสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้จุดนั้นขยายใหญ่ขึ้นพบมากในผลมะเขือเทศ และมะนาว (ดนัย, 2540) มะม่วง (ธเนศวร์, 2541) แอปริคอต แตงกวา มะเขือ แตงโม ส้ม และมะละกอ (Wang, 1994) รวมทั้งผลเกรฟฟรุต (McCollum and McDonald, 1991) นอกจากนั้นอาจมีการรั่วไหลของสารภายในเซลล์ด้วย ส่งผลทำให้จุลินทรีย์ที่ผิวผลิตผลเจริญได้ และมีความเข้าใจกันว่าการเกิดอาการ surface pitting นั้น เกี่ยวข้องกับความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณที่เก็บรักษา โดยอาจมีผลต่อการลดหรือเพิ่มอาการ surface pitting ให้รุนแรงยิ่งขึ้น ขึ้นกับชนิดของผลิตผล เช่น ผลแตงกวาที่ได้รับความชื้นสัมพัทธ์ 80-95 % เกิดอาการ surface pitting มากกว่าผลแตงกวาที่ได้รับความชื้นสัมพัทธ์ 95 % แต่สำหรับผลมะเขือเกิดผลกระทบในทางตรงกันข้าม คือเกิดอาการ surface pitting รุนแรงเมื่อเก็บรักษาผลมะเขือในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (Abe, 1990)

2. ฉ่ำน้ำ (water soaking) เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างของเซลล์และเกิดการสูญเสียการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นผลทำให้มีการปล่อยสารออกนอกเซลล์ไปอยู่ในบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (Salveit and Morris, 1990) ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายได้ง่าย ส่วนใหญ่มักเกิดกับใบ ต่อมาเกิดการเหี่ยวแห้งตายไปในที่สุด (ดนัย, 2540) เช่น ผลมะละกอจะเกิดอาการฉ่ำน้ำเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน (Chen and Paull, 1986)

3. การเปลี่ยนสีเนื้อและเปลือก ผลิตผลแสดงอาการโดยมีการเปลี่ยนแปลงจากสีปกติไปเป็นสีน้ำตาล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มักเกิดรอบๆท่อน้ำและท่ออาหาร ซึ่งอาจมีสาเหตุจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเซลล์ เช่น การเกิดเนื้อสีน้ำตาลหรือสีเทาของผลอะโวกาโด (Zauberman *et al.*, 1985) การเกิดเปลือกสีน้ำตาลของผลลำไย (Jiang *et al.*, 2002) และกล้วย (Morris, 1982) เป็นต้น

4. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ส่งผลให้มีสารเมตาบอไลต์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆถูกปล่อยออกนอกเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายต่อได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บเกี่ยวหรือระหว่างขนย้ายเพื่อวางจำหน่าย ทำให้เกิดการเน่าเสียได้มากขึ้น

5. ขาดคุณสมบัติในการสุก ผลไม้ดิบที่แก่จัดหลายชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำช่วงระยะเวลาหนึ่ง อาจจะสูญเสียคุณสมบัติในการสุกเมื่อนำไปบ่ม (ดนัย, 2540) เช่น กล้วยและมะเขือเทศที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่จัดสีเขียวและนอกจากนี้ผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาวในระยะสีเขียวอาจ สุกผิดปกติ คือมีสีและกลิ่นที่ไม่ปกติ อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีด้วย (Salveit and Morris, 1990) เช่น มะม่วงพันธุ์ Julie ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะมีกลิ่น สี และรสชาติของเนื้อผิด

ปกติ ผิวยุบตัว มีปริมาณกรดซิตริกสูง และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำกว่าผลมะม่วงที่สุกตามปกติ (Sankat *et al.*, 1994)

6. เร่งอัตราการเสื่อมสภาพของผลไม้ให้เกิดเร็วขึ้น เช่น ผลลำไยที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะเกิดการเสื่อมสภาพ โดยแสดงอาการเน่าเสียจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่าผลลำไยที่ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว

7. ขาดคุณสมบัติในการเจริญต่อเนื่อง เช่น หัวมันเทศ สูญเสียความมีชีวิตและมีการงอกลดลง เมื่อแสดงอาการสะท้านหนาว (ดนัย, 2540 ; Salveit and Morris, 1990)

8. มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลงอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

อาการที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ อาจจะเกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือหลายอาการร่วมกัน ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของผลิตผล ระดับอุณหภูมิ ระยะเวลาที่ได้รับและความรุนแรงของอาการ สำหรับอาการสะท้านหนาวของผลลำไยนั้นพบว่า เกิดอาการที่ผิวของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีคล้ำลงทั้งด้านในและด้านนอก เน่าเสียง่าย รสชาติผิดปกติ และมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์จากเนื้อเยื่อของเปลือกมากขึ้นกว่าผลลำไยปกติ (ดนัยและคณะ, 2543)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว

1. ระยะความแก่ (maturity) ผลไม้สุกมีความทนทานต่ออาการสะท้านหนาวมากกว่าผลไม้ที่ยังไม่สุก ผลไม้ที่ยังไม่สุกหากผ่านอุณหภูมิสะท้านหนาวอาจจะไม่สุกหรืออาจจะสุกได้คุณภาพไม่ดีหรืออาจสุกช้ากว่าปกติ (ดนัย, 2540) เช่น กรณีของพริกหวานพันธุ์ Doria และ Bison ที่สุกแล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ พบว่าพริกที่สุกไม่แสดงอาการสะท้านหนาว แต่พริกที่อยู่ในระยะแก่จัดสีเขียวนั้นแสดงอาการสะท้านหนาว (Lin *et al.*, 1993) ส่วนผลแตงหอม (musk melons) พันธุ์ Honey Dew พบว่าขณะที่ผลแตงยังอ่อนมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมากกว่าผลแตงที่แก่จัด (Lipton, 1979) และในทำนองเดียวกันกับผลแอปเปิลมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวลดลงเมื่อมีความแก่เพิ่มขึ้น

2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลิตผลที่อยู่ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวลดลง ซึ่งพบได้ในผลมะม่วงและอะโวกาโด (ดนัย, 2540) ในกรณีผลอะโวกาโดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงอาการสะท้านหนาวลดลง (Marcellin and Chaves, 1983)

3. ลักษณะทางพันธุกรรม ผลิตผลที่ผลิตได้จากแหล่งต่างกันหรือพันธุ์ต่างกันอาจแสดงอาการสะท้านหนาวแตกต่างกันได้ ถึงแม้จะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเดียวกันก็ตาม Bramlage and Meir (1990) ได้ศึกษาการเก็บรักษาผลแอปเปิลพันธุ์ต่างๆ ไว้ที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส พบว่า

ผลแอปเปิลแต่ละพันธุ์แสดงอาการแตกต่างกัน คือพันธุ์ McIntosh แสดงอาการไส้มีสีน้ำตาล (brown core) พันธุ์ Yellow Newton แสดงอาการเนื้อเยื่อภายในผลสลายตัว (internal breakdown) พันธุ์ Grimes Gold แสดงอาการเนื้อเยื่อเละ (soggy breakdown) พันธุ์ Jonathan แสดงอาการ soft scald และพันธุ์ Cox's Orange Pippin แสดงอาการสลายตัวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low-temperature break-down) จากตัวอย่างเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของผลิตผล

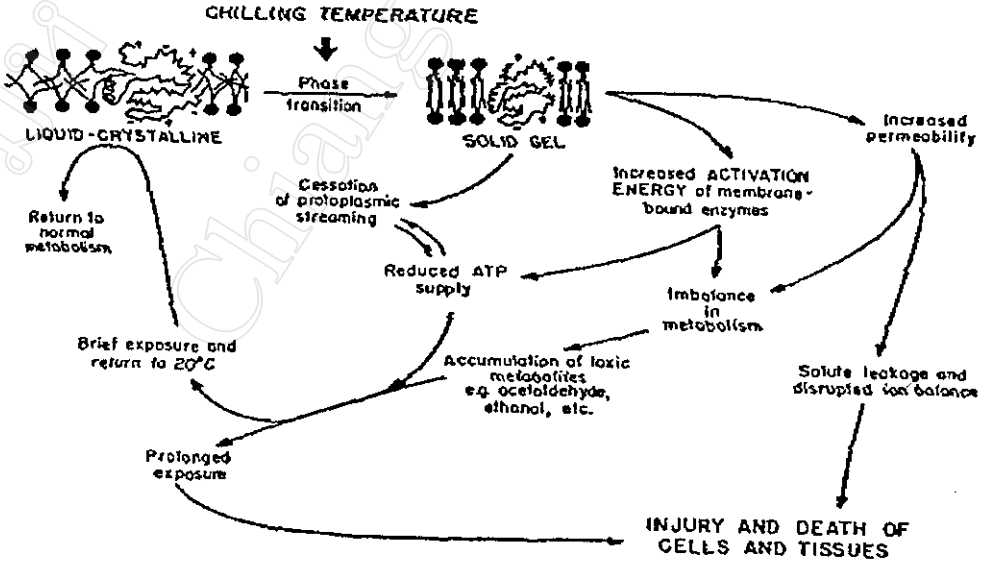
4. ธาตุอาหาร การเกิดอาการสะท้านหนาวยังเกี่ยวข้องกับธาตุอาหารในพืช เช่น แคลเซียมสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ การแทรกซึม (infiltration) ของสารละลายแคลเซียมเข้าไปในผลอะโวกาโดจะช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ นอกจากนี้การแช่ผลแอปเปิลในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ภายหลังการเก็บเกี่ยวสามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลแอปเปิลพันธุ์ Jonathan ได้ ซึ่งแคลเซียมอาจไปมีผลเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ (ดนัย, 2540) โดยเข้าไปอยู่ในผนังเซลล์ (อะโพพลาสต์) ตรงบริเวณมิดเดิลลาเมลลามากขึ้น เพราะบริเวณนี้เหมาะแก่การยึดเกาะของแคลเซียม (ยงยุทธ, 2543) และนอกจากนี้ธาตุอาหารที่ปรากฏอยู่ในต้นและผลแอปเปิลมีผลกระทบต่ออาการสะท้านหนาวโดยตรง เช่น ผลแอปเปิลที่มีแคลเซียมต่ำมีความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (ดนัย, 2540) นอกจากนี้ธาตุไนโตรเจนที่มีปริมาณมากในผลแอปเปิลมีผลทำให้เกิดอาการ superficial scald, soft scald และเกิดอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้น

5. การทำให้ผลิตผลเคยชิน (acclimation) ต่ออุณหภูมิต่ำ พืชบางชนิดที่ได้รับความเย็นเป็นช่วงสั้นๆแต่ไม่ใช่ที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดความเคยชินต่ออุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะช่วยลดความอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้ (ดนัย, 2540)

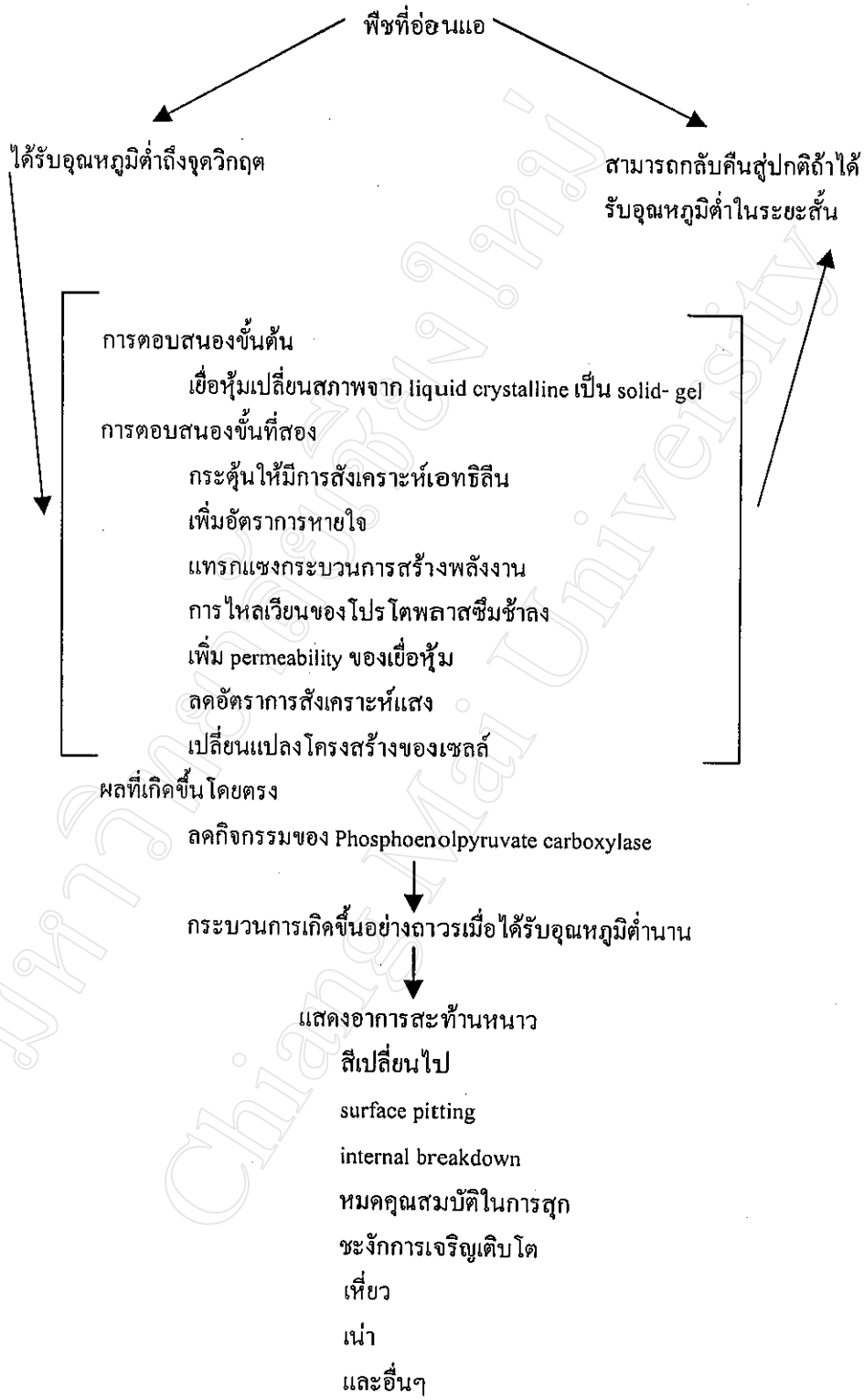
การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่ออุณหภูมิต่ำ

เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำ จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดขึ้นหลายอย่าง (ดนัย, 2540) โดยการเปลี่ยนแปลงนี้มีผู้สันนิษฐานว่าเกิดจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มอวัยวะภายในเซลล์บางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพขึ้น เนื่องจากชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์เหล่านี้แตกต่างกัน กล่าวคือพวกที่เกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายจะเป็นพวกกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ที่เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดและจะเปลี่ยนสถานะทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) เป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของผนังเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเสื่อมลงก่อให้เกิดผลเสียต่างๆตามมา (ภาพที่ 1) ส่วนผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำจะมีกรดไขมันชนิดไม่-อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็ยังคงรักษาสภาพที่

อ่อนตัวอยู่ได้ (จริงแท้, 2542) และนอกจากนี้ Wang (1982) และดนัย (2540) ได้รายงานว่าการตอบสนองของผลิตผลภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิต่ำนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือระยะแรก (primary response) มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มอวัยวะภายในเซลล์โดยเปลี่ยนจากสภาพของเยื่อหุ้มที่มีลักษณะอ่อนตัวไปเป็นลักษณะแข็ง อัตราการหายใจของไมโตคอนเดรียที่สกัดจากพืชพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสะท้านหนาว เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อได้รับอุณหภูมิวิกฤตสำหรับอาการสะท้านหนาว ส่วนในพืชพันธุ์ที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวจะไม่มีการเปลี่ยนลักษณะของเยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย นอกจากเยื่อหุ้มไมโตคอนเดรียเปลี่ยนสภาพแล้วยังพบว่าเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงในชั้นไขมันในเยื่อหุ้ม การเปลี่ยนแปลงสภาพของเยื่อหุ้มอาจจะนำไปสู่การตอบสนองขั้นที่สอง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ถาวรหรือไม่ก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมินั้นๆ และรวมทั้งความอ่อนแอของพืชด้วย แต่มีการเสนอว่าถ้าหากพืชที่อ่อนแอได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลายาวนาน การเปลี่ยนแปลงขั้นต้นจะนำไปสู่การเสีย membrane intrigity เกิดการรั่วไหลของสารละลาย เยื่อหุ้มหมดคุณสมบัติในการแยกเซลล์ออร์แกเนลล์ต่างๆออกจากกัน เอนไซม์ที่ติดอยู่กับเยื่อหุ้มต่างๆจะมี energy of activation สูงขึ้นจากนั้นการไหลของโปรโตพลาสซึมในเซลล์จะหยุดชะงัก อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง เซลล์ออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ทำงานไม่ได้และเกิดความไม่สมดุลของกระบวนการเมตาบอลิซึม มีการสะสมสารพิษในเซลล์ และนำไปสู่การแสดงอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 สมมุติฐานของกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวในพืช (Lyons, 1973)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพืชพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (Wang, 1982)

ส่วนการตอบสนองระยะที่สอง (secondary responses) ได้แก่

1. การขาดสารอาหาร (starvation) อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากพืชมีอัตราการหายใจสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง การที่พืชเกิดการสังเคราะห์แสงน้อยลงนั้นเป็นเพราะคลอโรพลาสต์ถูกทำลายไป ซึ่งพบได้ในพืชที่แสดงอาการตั้งแต่ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมากกว่าระยะหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนั้นการเกิด photoxidation ที่อุณหภูมิต่ำอาจทำให้การสังเคราะห์แสงหยุดชะงัก ซึ่งอาจทำให้เกิดการขาดอาหารได้ (ดนัย, 2540) พบได้ในผลมะเขือเทศ ถั่วเหลือง ฝ้าย ถั่วเขียว และแตงกวา (Hasselt, 1990)

2. การกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีน การสังเคราะห์เอทธิลีนในพืชหลายชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิสะท้านหนาว โดยเพิ่มการสังเคราะห์ ACC (1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid) เมื่อผลไม้ยังอยู่ในอุณหภูมิสะท้านหนาว ระดับของ ACC และ ACC synthase และอัตราการสังเคราะห์เอทธิลีนจะยังคงอยู่ในระดับต่ำ แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีการนำเอาผลไม้ออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงขึ้น (ดนัย, 2540) ดังเช่น Wang (1982) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาแตงกวาที่อุณหภูมิ 2.5 หรือ 13 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าผลแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส มีปริมาณของ ACC การทำงานของ ACC synthase และการผลิตเอทธิลีนในระดับต่ำ แต่เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระดับของ ACC และเอทธิลีน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและผลแตงกวาแสดงอาการสะท้านหนาว

3. การหายใจผิดปกติ (respiratory upset) อุณหภูมิสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดจะมีผลในการยับยั้งการหายใจแบบใช้ออกซิเจนและอัตราการหายใจจะเริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงที่เกิดอาการผิดปกติ หลังจากนั้นการหายใจเริ่มลดลงและตายในที่สุด ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำมีหลายชนิด เช่น แตงกวา ถั่วแขก และมันเทศ (ดนัย, 2540) เกรฟฟรุต (McCollum and McDonald, 1991) อะโวกาโด (Eaks, 1976) เป็นต้น ส่วนกลไกของการหายใจที่เพิ่มขึ้นนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดนักแต่คาดว่าเกิดจาก uncoupling ในกระบวนการ oxidative phosphorylation ซึ่งการตอบสนองในแง่ของการหายใจนี้สามารถใช้เป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าได้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นแล้ว (ดนัย, 2540)

4. การสะสมสารพิษ (toxin) การเกิดอาการสะท้านหนาว อาจทำให้ผลิตผลบางชนิดมีการสะสมสารพิษ ซึ่งการสะสมสารพิษนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการสร้างและอัตราการทำลายสารพิษของผลิตผล เซลล์ที่มีการสะสมสารพิษเนื่องจากกระบวนการทางชีวเคมีปกติได้ถูกรบกวน ทำให้มีกระบวนการทางชีวเคมีที่ผิดปกติเกิดขึ้น การสะสมสารพิษมักจะเกี่ยวข้องกับการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนถูกยับยั้ง ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น มีการสังเคราะห์สารพิษ เช่น อะซิทัลดีไฮด์ และเอทานอล นอกจากนี้สารพิษบางชนิดอาจเกิดจาก

การที่มีออกซิเจนในเนื้อเยื่อสูงเกินไป เพราะมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจนน้อย และมีเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ได้สารพวกเปอร์ออกไซด์ในเซลล์ แทนการใช้ออกซิเจนตามปกติได้ ถ้าในระบบไซโตโครม (cytochrome system) ของเซลล์มีการสะสมเปอร์ออกไซด์จะทำให้เซลล์ตายได้ (Caldwell, 1990 ; ดนัย, 2540)

5. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของโปรตีนและเอนไซม์ ที่ระดับอุณหภูมิสะท้านหนาวมีการสลายตัวของโปรตีนมากกว่าปกติ และอัตราการสลายตัวจะสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติได้ เพราะเซลล์ขาดโปรตีน ดังการทดลองกับถั่ว alfalfa (Mohapatra *et al.*, 1987) อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับกันนัก

ระบบของเอนไซม์ส่วนใหญ่ ซึ่งได้รับผลกระทบจากอาการสะท้านหนาวนั้น ส่วนมากจะเป็นเอนไซม์ซึ่งสัมพันธ์กับเยื่อหุ้ม เอนไซม์ซักซิเนตออกซิเดส (succinate oxidase), ซักซิเนตดี-ไฮโดรจิเนส (succinate dehydrogenase) และไซโตโครมซีออกซิเดส (cytochrome C oxidase) ของพืชที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาว จะมีกิจกรรมที่คงไม่เปลี่ยนแปลงในระดับอุณหภูมิที่เกิดกระบวนการทางชีวเคมีได้ แต่เอนไซม์ชนิดเดียวกันนี้ในพืชที่อ่อนแอมีการเพิ่มขึ้นของ activation energy ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 9 องศาเซลเซียส การที่อุณหภูมิสามารถเปลี่ยน activation energy ของเอนไซม์ได้นั้นเป็นเพราะโปรตีนในเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลง configuration อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสภาพของกรดไขมันในเยื่อหุ้ม ผลอีกอย่างหนึ่งของอุณหภูมิต่ำต่อระบบเอนไซม์ คือที่อุณหภูมิต่ำค่า Vmax และค่า Km ของเอนไซม์จะเปลี่ยนแปลงไป (ดนัย, 2540)

6. การสร้างและการใช้พลังงาน ผลของการเกิดอาการสะท้านหนาวต่อการสร้างและการใช้พลังงานยังเป็นเรื่องที่สับสนอยู่ มีรายงานเป็นจำนวนมากที่กล่าวว่า การเกิดอาการสะท้านหนาว ก่อให้เกิดการขาดพลังงานหรือทำให้เนื้อเยื่อไม่มีความสามารถในการใช้พลังงาน ผลสัมซึ่งได้รับอุณหภูมิต่ำมีกระบวนการ oxidative phosphorylation ลดลง ซึ่งทำให้เกิดการขาด ATP มีผลทำให้เซลล์เสีย intrigity มีอัตราการหายใจที่ผิดปกติและออกซิเดชันของกระบวนการหายใจไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังมีการสะสมสารระเหยที่มีพิษได้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำของพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว คืออัตราการหายใจของไมโตคอนเดรียลดลง แต่ประสิทธิภาพในการสร้างสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูงจะไม่ถูกรบกวนโดยตรงจากอุณหภูมิต่ำและไม่ใช่การตอบสนองในขั้นแรก แต่การลดลงของสารประกอบฟอสเฟตเกิดจากการลดประสิทธิภาพในการเกิดกระบวนการออกซิไดซ์ของการหายใจซึ่งเกิดขึ้นหลังจากพืชแสดงอาการสะท้านหนาวแล้ว (ดนัย, 2540)

7. การตอบสนองในระดับเซลล์ (cytological responses) เซลล์พืชที่ได้รับอุณหภูมิสะท้านหนาวจะมีความเต่งของเซลล์ลดลง ช่องว่างภายในเซลล์และปริมาตรของเซลล์ลดลง เกิดสิ่งแปลกปลอมภายในเซลล์และมีการเรียงตัวของผนังเซลล์ผิดปกติ อวัยวะภายในเซลล์หลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ไมโตคอนเดรียจะบวมและเยื่อหุ้มแวคิวโอลสลายตัวไปบางส่วน ทั้งสองกรณีพบได้ในเนื้อเยื่อพาเรนไคม่าของผลมะเขือที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นก่อนที่จะแสดงอาการ surface pitting มันเทศแสดงการเปลี่ยนแปลงเซลล์ออร์แกเนลล์ที่อยู่ภายในเซลล์เหมือนกับผลมะเขือ ไมโตคอนเดรียของส่วนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ของถั่วแขกที่ได้รับอุณหภูมิต่ำแสดงลักษณะผิดปกติ โดยเมทริกซ์และคริสตี้ (cristae) สลายตัว ในผลมะเขือเทศนั้นนอกจากไมโตคอนเดรียสลายตัวแล้วส่วนของพลาสติดจะถูกรบกวน ทำให้การเปลี่ยนแปลงของคลอโรพลาสต์เป็นโครโมพลาสต์เกิดขึ้นไม่ดี มีบางรายงานอธิบายว่า มีการเปลี่ยนแปลงที่เซลล์ออร์แกเนลล์ๆ อื่นเกิดขึ้นก่อนไมโตคอนเดรีย เช่น ใบเลี้ยงของผลมะเขือเทศที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงของเอนโดพลาสมิคเรติคิวลัม การหายไปของไรโบโซม และส่วนของโครมาตินรวมกันเป็นก้อน การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในใบเลี้ยงของผลมะเขือเทศ คือการสูญเสียความเต่ง ปริมาตรของไซโตพลาสซึมลดลง มีสารบางชนิดเกิดขึ้นที่ผนังเซลล์ และอวัยวะภายในเซลล์เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (ดนัย, 2540)

8. การรั่วไหลของสารออกจากเซลล์ (solute leakage) เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกรดไขมัน ทำให้เซลล์ยอมให้สารผ่านเข้าออกได้ง่ายขึ้น จึงทำให้สารที่อยู่ภายในเซลล์ซึมออกสู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นในระยะต้นๆหรือระยะต่อมาของการได้รับอุณหภูมิต่ำก็ได้ และมีรายงานหลายชิ้นที่พบว่าพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว อาจจะเกิดที่ใบ ผล และเนื้อเยื่อของราก (Murata, 1990) เช่น พริกหวานที่ได้รับอุณหภูมิต่ำมีการรั่วไหลของสารออกสู่ภายนอกเซลล์มากขึ้นเป็น 5 เท่าของพริกหวานปกติ อิออนที่รั่วไหลออกนอกเซลล์ของมันเทศ คือ โปแตสเซียมอิออน ระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวยังทำให้มีการปล่อยสารพวกคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนไกลซีน (glycine) ออกจากรากของพืชบางชนิด ซึ่งการรั่วไหลนี้จะลดลงได้ด้วยการให้แคลเซียมกับเนื้อเยื่อ ดังนั้นการรั่วไหลของสารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนไกลซีน จึงเกิดจากโครงสร้างที่เปลี่ยนไปมากกว่าเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมที่เปลี่ยนไป ในพืชบางชนิดมีการสูญเสียสารอีเล็กโตรไลต์จากเซลล์ด้วย (ดนัย, 2540)

9. การลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสง ในพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้น อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงจุดวิกฤต การที่พืชไม่สามารถรักษากระบวนการสังเคราะห์แสงให้เกิดตามปกติได้เข้าใจว่ามีความสัมพันธ์กับการที่พืชไม่สามารถสร้าง

คลอโรฟิลล์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ และยังเกิดกระบวนการ photorespiration ขึ้นด้วย นอกจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังลดลงด้วย เอนไซม์ฟอสโฟอีนอลไพรูเวตคาร์บอกซีเลส (phosphoenol pyruvate carboxylase หรือ PEP carboxylase) ในใบของพืช C4 หลายชนิดจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำมาก พบว่า activation energy ของเอนไซม์ชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แต่ในพืช C4 ที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ชนิดนี้ นอกจากนี้ยังมีอีกแนวความคิดที่คาดว่า การลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดจากการระงับการเคลื่อนย้ายอาหารในท่ออาหารเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้พืชเกิดกลไก feedback นอกจากนั้นยังอาจเกิดจากปากใบปิดเพราะการขาดน้ำด้วย เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำพืชดูดน้ำขึ้นมาได้ไม่เพียงพอกับการสูญเสียน้ำไปเนื่องจากการคายน้ำ (ดนัย, 2540)

10. กระบวนการเมตาบอลิซึมถูกรบกวน (metabolic disturbance) ระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาว การทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิดในกระบวนการเมตาบอลิซึมจะถูกรบกวนไม่เท่ากัน ทำให้เมตาบอไลต์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์แต่ละชนิดมีปริมาณไม่สมดุลกัน บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างปกติ บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้ามากและบางปฏิกิริยาอาจหยุดชะงักได้ ตัวอย่างเช่น มันฝรั่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เอนไซม์ที่ใช้ในไกลโคไลซิสจะถูกยับยั้งมากกว่าการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์น้ำตาล ทำให้เกิดการสะสมน้ำตาลซูโครสเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นเอนไซม์ที่เกาะอยู่กับเยื่อหุ้มเซลล์ก็จะทำงานไม่ได้ เพราะเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เพราะการเปลี่ยนสถานะของกรดไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ดังกล่าวทำให้เอนไซม์ที่เกาะอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถทำงานได้ สำหรับพืชที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำ เพราะกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีจุดหลอมเหลว (melting point) สูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและพืชเขตร้อนมักจะมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์มากกว่าในพืชเขตหนาว (ดนัย, 2540)

วิธีการลดอาการสะท้านหนาว

การลดอาการสะท้านหนาวเป็นการเพิ่มความต้านทานของเนื้อเยื่อพืชต่ออุณหภูมิต่ำก่อนการเก็บรักษาและเป็นการชะลอหรือลดการพัฒนาอาการสะท้านหนาวของพืชภายหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ การลดอาการสะท้านหนาวสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

1) การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษา (heat treatment)

การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษาเพื่อเพิ่มความต้านทานหรือลดการพัฒนาของอาการสะท้านหนาวนั้นเป็นวิธีการที่สะดวก ประหยัด และปลอดภัยเนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผลิตผล นอกจากนั้นยังมีผลต่อการควบคุมโรคและแมลงหลังการเก็บเกี่ยวได้ด้วย

(Ferguson *et al.*, 2000 ; Kerbel *et al.*, 1987) การใช้อุณหภูมิสูงในช่วงระดับ 40-50 องศาเซลเซียส ก่อนการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น การแช่ผลลำไยในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าสามารถฆ่าจุลินทรีย์ที่ผิวให้ลดน้อยลงได้ (Lu *et al.*, 1992) การให้ความร้อนอาจใช้ในรูปของการเป่าลมร้อนหรือไอความร้อน (vapor heat) หรือแช่น้ำร้อน (ดนัย, 2540) ซึ่งการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนเป็นวิธีการดั้งเดิมที่นำมาใช้ในด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว (Lurie, 1998) โดยระดับอุณหภูมิที่จะใช้กับผลิตผลก่อนการเก็บรักษานั้นขึ้นอยู่กับอัตราการนำความร้อนของผลิตผล ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด พันธุ์ ขนาด รูปร่าง และสัณฐานวิทยาของผลิตผลด้วย (Paull and Chen, 2000) เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ "Keitt" ที่ได้รับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน แล้วจึงนำไปไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวน้อยกว่าผลมะม่วงชุดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสอย่างเดียว อีกทั้งยังพบว่าความร้อนไม่มีผลกระทบต่อความแน่นเนื้อของผลมะม่วง (McCollum *et al.*, 1993) ส่วนธเนศวร์และดนัย (2541) รายงานว่าการให้อากาศร้อนอุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส นาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง กับผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 20 วัน สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วงได้ แต่ผลมะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนักสูงและความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลมะม่วงที่สุกตามปกติ ความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นในช่วงที่ได้รับอุณหภูมิสูง โดยเนื้อเยื่อมีการสร้างโปรตีนพิเศษขึ้นมาเรียกว่า heat shock protiens (HSPs) ซึ่งโปรตีนชนิดนี้เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ถูกชักนำให้สร้างขึ้นมาเมื่อมีสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อากาศร้อน อากาศเย็น สภาวะอากาศแห้งแล้ง หรือสภาวะดินเค็ม (Lurie, 1998 ; Sabehat *et al.*, 1998) ดังเช่น ผลอะโวกาโดพันธุ์ "Hass" ที่ได้รับลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 6 หรือ 10 ชั่วโมง และได้รับลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 0.5 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 2 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่ามีอาการสะท้านหนาวซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวภายนอก (external chilling injury) ลดลง (Woolf *et al.*, 1995) ส่วน Sanxter *et al.*(1994) ได้รายงานว่าผลอะโวกาโดพันธุ์ "Sharwil" ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37-38 องศาเซลเซียส นาน 17-18 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1.1 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน ผลปรากฏว่าผลอะโวกาโดแสดงอาการสะท้านหนาวลดลงเช่นเดียวกันกับ Nishijima *et al.* (1995) ซึ่งรายงานว่าการเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ "Sharwil" ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 8-12 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2.2 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ นอก

จากนี้ Florissen *et al.* (1996) รายงานว่าการเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ "Hass" ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 6-12 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ช่วยป้องกันอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้าง HSPs ได้ เช่นเดียวกับผลพริกหวานที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ไม่แสดงอาการสะท้านหนาวและมีการหายใจรวมทั้งการผลิตเอทธิลีนลดลง ในขณะที่ผลพริกหวานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสโดยไม่ผ่านอุณหภูมิสูงแสดงอาการสะท้านหนาวโดยมีการยุบตัวของเนื้อเยื่อเกิดขึ้น (Mencarelli *et al.*, 1993) ส่วนผลมะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 36-40 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่แสดงอาการสะท้านหนาวและยังมีการสุกตามปกติด้วย (Lurie and Klein, 1991) เช่นเดียวกับผลเกรฟฟรุตที่แช่ในน้ำร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 6 สัปดาห์ จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ ผลปรากฏว่าผลเกรฟฟรุตมีอาการสะท้านหนาวลดลง 70-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียน้ำหนัก ระดับสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดไม่แตกต่างจากผลเกรฟฟรุตปกติ (Porat *et al.*, 2000)

McCollum and McDonald (1993) รายงานว่าผลแตงกวาที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 30-60 นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส ทำให้อาการสะท้านหนาวของผลแตงกวาลดลง และการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับผลแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวโดยไม่ผ่านการแช่ในน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา สำหรับผลส้มพันธุ์ "Valencia" ซึ่งแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารไทอะเบนดาโซลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 2 นาที แสดงอาการสะท้านหนาวลดลงเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Wild and Hood, 1989) การให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 34-50 องศาเซลเซียสต่อผลพลับ นาน 0.5-10 ชั่วโมง แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 6.5 สัปดาห์ จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลพลับได้ (Woolf *et al.*, 1997) เช่นเดียวกับการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 47-54 องศาเซลเซียส นาน 2.5-120 นาที ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 6.5 สัปดาห์ จากนั้นย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลพลับเช่นกัน (Lay-Yee *et al.*, 1997)

การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังมีผลชักนำให้ผลิตผลเกิดการสร้างโพลีเอมีน (polyamines) เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้เกิดความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ เช่น

ผลมะนาวฝรั่งและผลเกรฟฟรุต ที่แช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 2-3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีอาการสะท้านหนาวลดลง และพบว่ามีสารพูเทรสซีน (putrescine) เพิ่มขึ้น (Rodov *et al.*, 1995) ส่วนพริกหวานที่ได้ผ่านการแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 และ 28 วัน พบว่า พริกหวานแสดงอาการสะท้านหนาวและมีการเน่าเสียลดลงและพบว่าระดับของโพลีเอมีน (polyamine) เพิ่มขึ้นภายหลังจากการแช่น้ำร้อน (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2000) การแช่ผลส้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที และอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 45 วัน สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลส้มแมนดารินพันธุ์ "Fortune" และมีปริมาณของโพลีเอมีนเพิ่มขึ้นด้วย (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 1997)

2) การใช้อุณหภูมิสูงสลับกับการใช้อุณหภูมิต่ำระหว่างการเก็บรักษา (intermittent warming)

การที่พืชได้รับอุณหภูมิสูงสลับกับการได้รับอุณหภูมิต่ำระหว่างการเก็บรักษานั้น สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและลดอาการสะท้านหนาวได้ โดยระยะเวลาในการได้รับอุณหภูมิสูงสลับอุณหภูมิต่ำนั้นจะมีความผันแปรในพืชแต่ละชนิด นอกจากนั้นยังผันแปรไปตามชนิดและพันธุ์พืชแต่ละชนิดด้วย (Hatton, 1990) ระยะเวลาที่ใช้อุณหภูมิสลับนั้น อาจใช้ช่วงเวลาสั้นๆ 1 ครั้ง หรือมากกว่านั้น ซึ่งสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ในผลิตผลหลายชนิด เช่น แอปเปิล ส้ม แครนเบอรี่ แตงกวา เนคทารีน กระเจี๊ยบ ท้อ พลัม มันฝรั่ง พริกหวาน และมะเขือเทศ เป็นต้น (Wang, 1990) การให้อุณหภูมิสูงสลับในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนั้น ต้องดำเนินการก่อนที่ผลิตผลจะแสดงอาการสะท้านหนาวจนถึงระดับที่ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ และนอกจากนี้ผลิตผลที่มีอายุสั้น เช่น แตงกวา พริกหวาน และซูกินี การให้อุณหภูมิสูงสลับต้องทำอย่างรวดเร็วกว่าพวกที่มีอายุการเก็บรักษาได้นานและต้องทำบ่อยกว่าจึงจะมีผลในการลดอาการสะท้านหนาวได้ดี ส่วนกลไกของการทำให้เกิดการต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวนั้นยังไม่ทราบแน่ชัดนัก อาจจะเป็นไปได้ว่าในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นนั้น เนื้อเยื่อพืชสามารถเมตาบอไลต์สารพิษซึ่งสะสมในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ หรือที่อุณหภูมิสูงขึ้นเนื้อเยื่อมีการสังเคราะห์กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเคลื่อนย้ายผลิตผลไปไว้ที่อุณหภูมิต่ำเยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่งผลทำให้เนื้อเยื่อมีความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาว (Wang, 1990) ดังเช่น ในรากถั่วเหลือง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดกรดไขมันปาลมิติกและสเตียริกในพลาสมาเลมมาและไมโตคอนเดรียเพิ่มขึ้น ส่วนกรดไขมันโอเลอิก ลิโนเลอิก และลิโนเลนิกในพลาสมาเลมมาและไมโตคอนเดรียลดลง และเกิดลักษณะตรงกันข้ามเมื่อย้ายผลิตผลไปไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (Wang, 1993) หรือที่อุณหภูมิสูงขึ้นเนื้อเยื่ออาจจะสามารถสร้างสารที่ขาดหายไปขึ้นมาทดแทนได้ (ดนัย, 2540) ตัวอย่างเช่นการเก็บ

รักษาผลท้อในรัฐแคลิฟอเนีย พบว่าถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสตลอดเป็นระยะเวลานาน 9 สัปดาห์จะเกิดอาการสะท้านหนาว แต่ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สลับกับอุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส นาน 2 วันทุก 4 สัปดาห์จะทำให้ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งอาจเกิดจากในช่วงของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการสะสมแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารพิษขึ้นในผลิตผลและทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น แต่เมื่อมีการย้ายไปที่อุณหภูมิสูง แอลกอฮอล์ระเหยไป ส่งผลทำให้ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2542) หรือในช่วงที่ได้รับอุณหภูมิสูงสลับนั้นเมม-เบรนหรือเซลล์ออร์แกเนลล์ มีการซ่อมแซมส่วนที่เสียหายได้ (Wang, 1993) ผลิตผลที่ได้รับอุณหภูมิสูงระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนั้น อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพไปในทางที่ดีขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลนั้นๆด้วย เช่น ผลทับทิมที่ได้รับอุณหภูมิสูงสลับอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน สลับกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 หรือ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน ที่ระดับความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลปรากฏว่าผลทับทิมที่ได้รับอุณหภูมิสลับมีปริมาณของแอนโทไซยานินและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้สูงและมีสีสวยกว่าผลทับทิมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 หรือ 5 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ผลทับทิมที่เกิดอาการสะท้านหนาวยังมีจำนวนน้อยลงด้วย (Artes *et al.*, 2000) ผลซูกินีที่ได้รับอุณหภูมิสูงสลับอุณหภูมิต่ำที่ระดับอุณหภูมิ 2.5 และ 5 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นเคลื่อนย้ายไปไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าผลซูกินีแสดงอาการสะท้านหนาวลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (Kramer and Wang, 1989) การใช้อุณหภูมิสูงสลับอุณหภูมิต่ำกับผลมะนาวในทางการค้า โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ตามด้วยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ผลปรากฏว่าสามารถเก็บรักษาผลมะนาวได้ 6 เดือน โดยที่ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (Cohen, 1988)

3). การลดอุณหภูมิลำดับขั้น (step-wise temperature)

การลดอุณหภูมิลำดับขั้นแทนลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้พืชมีการปรับตัวและสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ ซึ่งการลดอุณหภูมิลำดับขั้นนั้นถือว่าเป็นการทำ condition ด้วย โดยการนำพืชหรือผลิตผลไปเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตที่จะแสดงอาการสะท้านหนาวเล็กน้อย เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนลดอุณหภูมิลง อาจมีการทำ condition เพียงครั้งเดียว (single-temperature condition) หรือทำ condition สองครั้ง (double-step temperature condition) แต่การทำ double-step temperature condition นั้นสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ดีกว่า single-temperature condition ดังเช่น ผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสตลอดอายุการเก็บรักษา พบว่าผลมะม่วงมีการพัฒนาสีและคุณภาพภายในผล

เมื่อผลสุกดีกว่าผลมะม่วงที่ได้รับ single-temperature condition (Thomas and Oke, 1983) นอกจากนี้มีการศึกษากับผลมะเขือเทศ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 1 หรือ 2 วัน ตามด้วยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6.5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน พบว่าสามารถลดอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อได้ดีกว่าการเก็บรักษาผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสอย่างเดียว (Nakamura *et al.*, 1985) และผลมะเขือเทศแสดงอาการสะท้านหนาวลดลงโดยการลดอุณหภูมิลงเป็นลำดับขั้นได้เช่นกัน คือเก็บรักษาผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน ตามด้วยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน (Marangoni *et al.*, 1990) และนอกจากนี้ยังสามารถลดอาการสะท้านหนาวโดยการลดอุณหภูมิลงเป็นลำดับขั้นกับผลกล้วยได้อีกด้วยเช่นกัน (Wang, 1993) ความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิลงเป็นลำดับขั้นก่อนการเก็บรักษาผลิตผล อาจเกิดเนื่องจากในระหว่างการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ นั้นภายในเซลล์ของผลิตผลอาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มต่างๆเช่น มีการสร้างฟอสโฟลิพิดซึ่งมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น (จริงแท้, 2542)