บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะม่วง (Mango : *Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบอินเดียถึงพม่า โดยมีศูนย์กระจายพันธุ์อยู่ในอินโดจีน มาเลเซีย และอินโดนีเซีย การกระจายพันธุ์เป็นไปอย่างช้าๆ ก่อนที่จะขยายไปสู่ส่วนต่างๆ ของโลก (เฉลิมชัย, 2539) สำหรับประเทศไทยมะม่วงนับว่าเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งและมะม่วงยังเป็นผลไม้ที่เกษตรกรไทยนิยมปลูกเป็นการค้ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 23 ของพื้นที่ปลูกผลไม้ทั้งหมดของประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2545: ระบบออนไลน์) พื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2544 จำนวน 2,184,518 ไร่ เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้ว 1,718,217 ไร่ สามารถให้ผลผลิตรวม 1,669,439 ตัน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2547: ระบบออนไลน์) ประเทศไทยมีการส่งมะม่วงออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั่วโลก ในรูปของมะม่วงบรรจุภาชนะอัดลม มะม่วงสดหรือแห้ง และมะม่วงแช่แข็ง รวมทั้งหมดเป็นปริมาณ 15,363,615 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 521,789,111 (สถาบันอาหาร, 2547: ระบบออนไลน์) สำหรับมะม่วงที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์ (ภูวนาท, 2540) กล่าวคือ

1. มะม่วงกลุ่มอินเดีย เป็นมะม่วงที่มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศอินเดีย ปากีสถาน และมีปลูกมากในรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา มะม่วงกลุ่มนี้มีลักษณะเด่น คือ เมล็ดที่เพาะจะให้ต้นกล้า 1 ต้นต่อเมล็ด ต้นกล้านั้นจะกลายพันธุ์ เพราะเป็นลูกผสม ผลของมะม่วงในกลุ่มนี้มีสีสันสะดุดตา เช่นมีผิวสีแดง สีม่วงส้ม มีกลิ่นขี้ไตแรงและต้องการช่วงก่อนออกดอก

2. มะม่วงกลุ่มอินโดจีน เป็นมะม่วงของประเทศแถบอินโดจีนและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ฯลฯ เป็นมะม่วงที่เรารู้จักกันดี เมื่อนำเมล็ดมาเพาะจะให้ต้นกล้ามากกว่า 1 ต้นต่อเมล็ด ต้นกล้าที่ได้ส่วนมากจะตรงกับพันธุ์เดิม แต่จะมีการกลายพันธุ์ได้บ้างในบางต้น มะม่วงในกลุ่มนี้มีผลสีเขียวหรือสีเหลือง เนื้อผลมีกลิ่นไม่แรง มีช่วงพักตัวก่อนออกดอกสั้นกว่ามะม่วงกลุ่มอินเดีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในประเทศไทยมีมะม่วงมากมายหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะของต้น ทรงพุ่ม ใบ ผล และรสชาติที่แตกต่างกันไป มะม่วงที่นิยมบริโภคกันในปัจจุบันนี้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการนำผลมะม่วงใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ (ภูวนาท, 2540; เกศินี, 2528)

1. มะม่วงบริโภคดิบหรือมะม่วงมัน มะม่วงประเภทนี้มีรสหวานขณะที่ผลแก่จัดถึงแม้ผลยังไม่สุก เช่น เขียวเสวย แรด และพิมเสนมัน เป็นต้น อีกพวกหนึ่งมีรสมันไม่เปรี้ยว แม้ผลยังไม่แก่ เช่น สายฝน ฟ้าลั่น หนองแซง เป็นต้น โดยทั่วๆ ไปมะม่วงบริโภคผลดิบทุกชนิดจะเก็บไว้ในลักษณะมะม่วงแก่ได้ไม่กี่วันก็จะเริ่มสุก ซึ่งโดยมากจะมีรสหวาน แต่รสชาติไม่จัดเหมือนมะม่วงบริโภคผลสด และไม่อร่อยเหมือนขณะยังดิบอยู่

2. มะม่วงบริโภคผลสุก มะม่วงประเภทนี้เมื่อผลยังดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก ดังนั้นจึงนิยมเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่เต็มที่ แล้วบ่มให้สุกเสียก่อนจึงนำมาบริโภค เมื่อผลมะม่วงสุกแล้วจะมีรสหวานและมีกลิ่นหอม พันธุ์มะม่วงที่นิยมบริโภคผลสุกที่สำคัญ ได้แก่ โชคอนันต์ อกร่องทอง พิมเสนหนังกลางวัน ลิ้นงูเห่า และน้ำดอกไม้ เป็นต้น

3. มะม่วงใช้แปรรูป เป็นมะม่วงที่มีผลดก ผลขนาดเล็กถึงปานกลาง เมื่อแก่จัดจะมีรสมันอมเปรี้ยว เมื่อผลสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยวหรือจืดชืด ผลดิบใช้ทำมะม่วงตากแห้งหรือมะม่วงดอง ผลสุกใช้เนื้อทำมะม่วงกวน มะม่วงแผ่น สำหรับพันธุ์มะม่วงที่ใช้แปรรูปอย่างแพร่หลายปัจจุบันนี้ ได้แก่ มะม่วงแก้ว มะม่วงพิมเสนเปรี้ยว หรือมะม่วงพันธุ์อื่นๆ ที่ไม่นิยมบริโภคผลสุกกัน ส่วนมะม่วงสามปีนิยมใช้ผลสุกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แยมและน้ำมะม่วงบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีคุณภาพดีมาก เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ

มะม่วงโชคอนันต์ เป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่ที่สามารถออกดอกและติดผลได้ตลอดทั้งปี แม้กระทั่งในฤดูฝน ซึ่งถือว่าเป็นมะม่วงทะวายชนิดหนึ่ง และจัดเป็นมะม่วงประเภทบริโภคผลสุก เป็นพันธุ์ที่มีกำเนิดมาจากการเพาะเมล็ดมะม่วงสามปี สามารถรักษากลิ่นหอมของมะม่วงสามปีเอาไว้ได้ตลอดจนการติดผลก็เป็นพวงเช่นเดียวกับมะม่วงสามปี (วิจิตร, 2536) มะม่วงโชคอนันต์ออกดอกง่าย พบว่าทุกครั้งที่มีการแตกใบอ่อน และใบอ่อนเริ่มแก่จะมีการแทงช่อดอกออกมาเสมอ มีเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงและผลไม่ค่อยร่วง ลักษณะของผลมีรูปทรงคล้ายมะม่วงพิมเสนมัน มีเปลือกผลหนา เนื้อแข็ง เมื่อสุกเนื้อแน่น ละเอียดไม่มีเสี้ยน เมื่อผลสุกเนื้อมีสีเหลืองทอง รสชาติหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดลีบหรือเมล็ดบาง และสามารถเก็บไว้ได้นานหลายวัน ผลขนาดกลาง มีความยาวเฉลี่ย 12 เซนติเมตร กว้าง 7.2 เซนติเมตร และหนา 6.2 เซนติเมตร ความหนาของเปลือกประมาณ 0.20 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ย 300-400 กรัม (ภูวนาท, 2540; วิจิตร, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มะม่วงทุกชนิดเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในผลิตผลและมีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ภายนอกด้วย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลไว้ในสภาพเดิมได้นานขึ้น แต่การเก็บรักษาผลไม้บางชนิดที่อุณหภูมิต่ำเกินไปก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะกับผลิตผลในเขตร้อน อาจทำให้เกิดอาการผิดปกติที่เรียกกันว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ขึ้นได้ มะม่วงจัดเป็นผลไม้เขตร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษามะม่วงอยู่ในช่วง 12-13 องศาเซลเซียส ซึ่งหากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ (จริงแท้, 2544)

อาการสะท้านหนาว (Chilling Injury)

ผลิตผลทางพืชสวนภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังคงเป็นสิ่งมีชีวิต และมีกระบวนเมแทบอลิซึม (metabolism) ต่างๆ ยังคงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ การสุก การเสื่อมสภาพ ตลอดจนกระบวนการป้องกันตนเอง และมีการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ แมลงและสัตว์ต่างๆ ได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตผลไว้ได้นาน ดังนั้นการเก็บรักษาให้ผลิตผลอยู่ได้นานจึงเป็นการปฏิบัติด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อชะลอเมแทบอลิซึมของผลิตผลและชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ (จริงแท้, 2544) ดังนั้นการเก็บรักษาที่ดีจะต้องพยายามรักษาความสดของผลิตผลให้คงอยู่ได้นานที่สุด โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษาผลไม้ (ดนัยและนิธิยา, 2535) ผลผลิตทางพืชสวนที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนส่วนใหญ่มักอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำซึ่งมักจะต่ำกว่า 12.5 องศาเซลเซียส แต่จะต้องเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเยือกแข็งของผลิตผลนั้นๆ การเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น เพราะเกิดการเน่าเสียเร็ว สีผิวผิดปกติ มีการสุกที่ผิดปกติ พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชนั้นก็จะอ่อนแอด้วย ยกเว้นเมล็ดแก่ที่แห้งแล้วเท่านั้น อาการสะท้านหนาวอาจจะเกิดขึ้นขณะอยู่ในสวน ระหว่างการขนส่ง ระหว่างการเก็บรักษาที่ตลาดขายส่งและขายปลีก หรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านทั่วๆ ไป อย่างไรก็ตามผลิตผลที่มีจุดกำเนิดในเขตอบอุ่นบางชนิดก็อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวเป็นอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง พืชเมืองร้อนส่วนใหญ่จะเกิดอาการผิดปกติขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2544) ซึ่งอาการผิดปกติจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของผลิตผลนั้นๆ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อาการสะท้านหนาวและอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเก็บรักษาได้โดยไม่เกิดอาการสะท้านหนาวของผักและผลไม้บางชนิด (ดนัย, 2540)

ชนิดของผลิตผล	อุณหภูมิต่ำสุดในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อาการสะท้านหนาว
อะโวกาโด	5-12	pitting เนื้อและท่อน้ำท่ออาหารเป็นสีน้ำตาล
กล้วย	12	ผิวมีเส้นสีน้ำตาลเกิดขึ้น
แตงกวา	7	สีคล้ำ มีอาการช้ำน้ำเป็นบางจุด
มะเขือ	7	surface scald
มะนาวฝรั่ง	10	pitting ที่เปลือกและมีสีน้ำตาลบริเวณที่เนื้อเยื่อยุบตัว
มะนาว	7	pitting
มะม่วง	5-12	ผิวมีสีคล้ำอาจจะเกิดปื้นสีน้ำตาล
เมลอน	7-10	pitting และอ่อนแอต่อการถูกทำลายด้วยจุลินทรีย์
มะละกอ	7	pitting และเกิดอาการช้ำน้ำเป็นบางจุด
สับปะรด	6-10	เนื้อมีสีน้ำตาลหรือดำ
มะเขือเทศ	7-12	pitting และอ่อนแอต่อเชื้อ *Alternaria* sp.

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามการเกิดอาการเหล่านี้เป็นผลมาจากการได้รับอุณหภูมิต่ำ และอาการมักจะเกิดรุนแรงเมื่อนำออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงขึ้น อุณหภูมิที่จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว และตัวอย่างอาการที่อาจเกิดขึ้นกับผลผลิต มีดังนี้ (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การยุบตัวของผิว (surface pitting) เป็นอาการที่ผิวของผลิตผลยุบตัวลงเป็นแห่งๆ บริเวณที่ยุบตัวลงอาจจะมีสีผิดปกติไปจากเดิม นอกจากนั้นผลิตผลจะมีการสูญเสียน้ำมาก ทำให้จุดนั้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น เช่น อาการที่เกิดขึ้นกับมะม่วงพันธุ์ Haden (Fuchs *et al.,* 1989) มะม่วงพันธุ์ Keitt (McCollum *et al.,* 1993) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (ธเนศวร์และคนัย, 2541) พริกหวาน (เพชรดา, 2540) ส้มวาเลนเซีย (Wild and Hood, 1990) มะเขือเทศ (Cote *et al.,* 1993) และแตงกวา (Hakim *et al.,* 1997)

2. การฉ่ำน้ำ เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเซลล์ผิวของผลิตผล ทำให้เนื้อเยื่อมีสีคล้ำ การฉ่ำน้ำจะเกิดร่วมไปกับการปล่อยสารบางชนิดออกมาจากเซลล์ ซึ่งทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายและเกิดการเน่าเสีย เช่น พริกหวานเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 6 องศาเซลเซียส (เพชรดา, 2540)

3. สีของเนื้อและเปลือกเปลี่ยนไป เนื้อของผลไม้บางชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำสีจะเปลี่ยนจากปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นรอบๆ ท่อน้ำ ท่ออาหาร การเปลี่ยนสีในลักษณะนี้อาจจะเป็นเพราะกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่ออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเซลล์ของพืชบางชนิด ระบบท่อน้ำ และท่ออาหารอาจจะกลายเป็นสีน้ำตาลได้ สีที่เปลือกมักจะเปลี่ยนไปในทางที่คล้ำลงจากเดิม เช่น เมื่อเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน อาการที่เกิดขึ้นคือจะมีสีน้ำตาลคล้ำที่เปลือกด้านใน (สัณห์, 2538) และอาการที่เกิดขึ้นที่เปลือกมะละกอดิบ คือเปลือกเปลี่ยนเป็นสีมะกอกแก่เป็นจุดๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-2 มิลลิเมตร (Chen and Paull, 1986)

4. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีสารเมแทบอไลต์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายต่อได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บเกี่ยว หรือขนย้ายเพื่อวางจำหน่าย เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้มีการเน่าเสียมากขึ้น การวัดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถกระทำโดยการวัดการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์ (electrolyte leakage, EL) ซึ่งพบว่า มีค่าสูงขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว (L'Heureux *et al.,* 1993) Chan *et al.* (1985) ได้ทดลองนำผลมะละกอดิบ มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 1, 4, 7, 14 และ 21 วัน จากนั้นนำมาปล่อยให้สุกที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เมื่อนำชิ้นส่วนเนื้อเยื่อมาหาอัตราการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์พบว่า เนื้อเยื่อของมะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวและมีอัตราการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์สูงกว่ามะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และไม่เกิดอาการสะท้านหนาว มะเขือเทศพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะมีการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์สูงกว่าพันธุ์ที่ต้านทานอาการสะท้านหนาวประมาณ 2 เท่า และเมื่อเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ มะเขือเทศแสดงอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นและมีค่าการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์ สูงกว่าผลที่ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (McCollum and McDonald, 1991) เมื่อเก็บรักษามะเขือเทศไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน โดยพบว่ามีการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์เพิ่มขึ้นพร้อมกับการแสดงอาการสะท้านหนาว (McDonald *et al.,* 1999) การรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์สามารถบ่งชี้ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ได้ โดยพบว่ามีการรั่วไหลของสารอีเลคโตรไลต์เพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงเกิดอาการสะท้านหนาว (ธเนศวร์และดนัย, 2541)

5. การเสื่อมคุณภาพของเนื้อผล ผลไม้จะขาดคุณสมบัติในการสุก ผลไม้ดิบที่แก่จัดหลายชนิด เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานพอสมควร อาจจะสูญเสียคุณสมบัติที่จะสุกเมื่อนำไปบ่ม เช่น กล้วย และมะละกอ (Couey, 1882) นอกจากนี้มะม่วงพันธุ์ Keitt ในขณะที่เกิดอาการสะท้านหนาวมีค่าพีเอชต่ำ และปริมาณของกรดที่ไตเตรทได้สูงขึ้น แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผลที่สุกตามปกติ (Chaplin *et al.,* 1991)

6. การเสื่อมสภาพเร่งให้เกิดเร็วขึ้น เช่น มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้มีการเกิดโรคมากขึ้น (ธเนศวร์และดนัย, 2541)

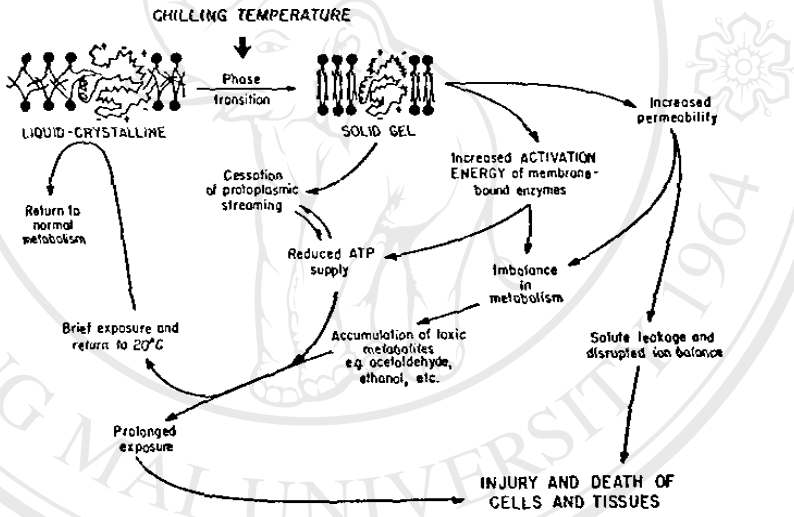
7. การเก็บรักษามีอายุสั้นลง จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น ตัวอย่างเช่น ผลเกรฟฟรุ๊ต พันธุ์ Star Ruby ที่เกิดอาการสะท้านหนาวมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง (Porat *et al.,* 2000)

สาเหตุของอาการสะท้านหนาว

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีข้อสันนิษฐานว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์บางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ และส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย (mitochondrial membrane) และเยื่อหุ้มออร์แกนเนลล์อื่นๆ มีองค์ประกอบเช่นเดียวกัน คือ ประกอบไปด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และโปรตีน เยื่อหุ้มเหล่านี้มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งที่เกิดของกระบวนการสำคัญต่างๆ ด้วย เช่น การหายใจ และการสังเคราะห์แสง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล เยื่อหุ้มต่างๆ เหล่านี้จะเสื่อมสภาพลง ทำให้สารตั้งต้น (substrate) ต่างๆ มีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม ทำให้เซลล์ขาดสมดุลและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาการสะท้านหนาวหรืออาการผิดปกติทางสรีรวิทยาอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลชนิดต่างๆ ที่ไม่เหมือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กันนั้น มีผู้สันนิษฐานว่าเกิดเนื่องจาก กรดไขมันที่เป็น side chain ในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเหล่านี้แตกต่างกัน กล่าวคือพวกที่เกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดของเยื่อหุ้มต่างๆ และจะเปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่เป็นของเหลว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะเจลแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมา เช่น การสะสมของสารพิษทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพลงและตายไปในที่สุด (ภาพที่ 1) ส่วนในผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็ยังคงรักษาสถานะที่เป็นของเหลวอยู่ได้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของกรดไขมันในพืชที่ทนทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวกับพวกที่อ่อนแอยังไม่พบความสัมพันธ์ที่แน่ชัด (จริงแท้, 2544)



ภาพที่ 1 สมมุติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาวในพืช (Lyons, 1973)

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่ออุณหภูมิต่ำ

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่ออุณหภูมิต่ำมีดังนี้ (ดนัย, 2540)

การตอบสนองขั้นต้น

การตอบสนองขั้นต้นของพืชที่เกิดขึ้นเป็นประการแรกเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มอวัยวะภายในเซลล์ โดยเปลี่ยนจากสภาพของเยื่อหุ้มที่เป็นของเหลวเป็นของแข็ง อัตราการหายใจของไมโตคอนเดรียที่สกัดจากพืชพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสะท้านหนาวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อได้รับอุณหภูมิวิกฤต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับอาการสะท้านหนาว ในพืชพันธุ์ที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวจะไม่มีการเปลี่ยนลักษณะของเยื่อหุ้ม นอกจากเยื่อหุ้มไมโตคอนเดรียเปลี่ยนสภาพแล้ว ยังพบว่าเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงในชั้นไขมันของเยื่อหุ้ม การเปลี่ยนแปลงสภาพของเยื่อหุ้มอาจจะนำไปสู่การตอบสนองขั้นที่สอง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ถาวรหรือไม่ก็ได้ ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมินั้นๆ และความอ่อนแอของพืชนั้นด้วย แต่มีการเสนอว่าหากพืชที่อ่อนแอได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน การเปลี่ยนแปลงขั้นต้นจะนำไปสู่การเสีย membrane intrigity เกิดการรั่วไหลของสารละลาย เยื่อหุ้มเซลล์หมดคุณสมบัติในการแยกออร์แกเนลล์ต่างๆ จะมี energy of activation สูงขึ้น จากนั้นการไหลของโปรโตพลาสม์ในเซลล์จะหยุดชะงัก อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ทำงานไม่ได้ และเกิดความไม่สมดุลของกระบวนการเมแทบอลิซึม มีการสะสมสารพิษภายในเซลล์ และนำไปสู่การแสดงอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 2)

การตอบสนองขั้นที่สอง

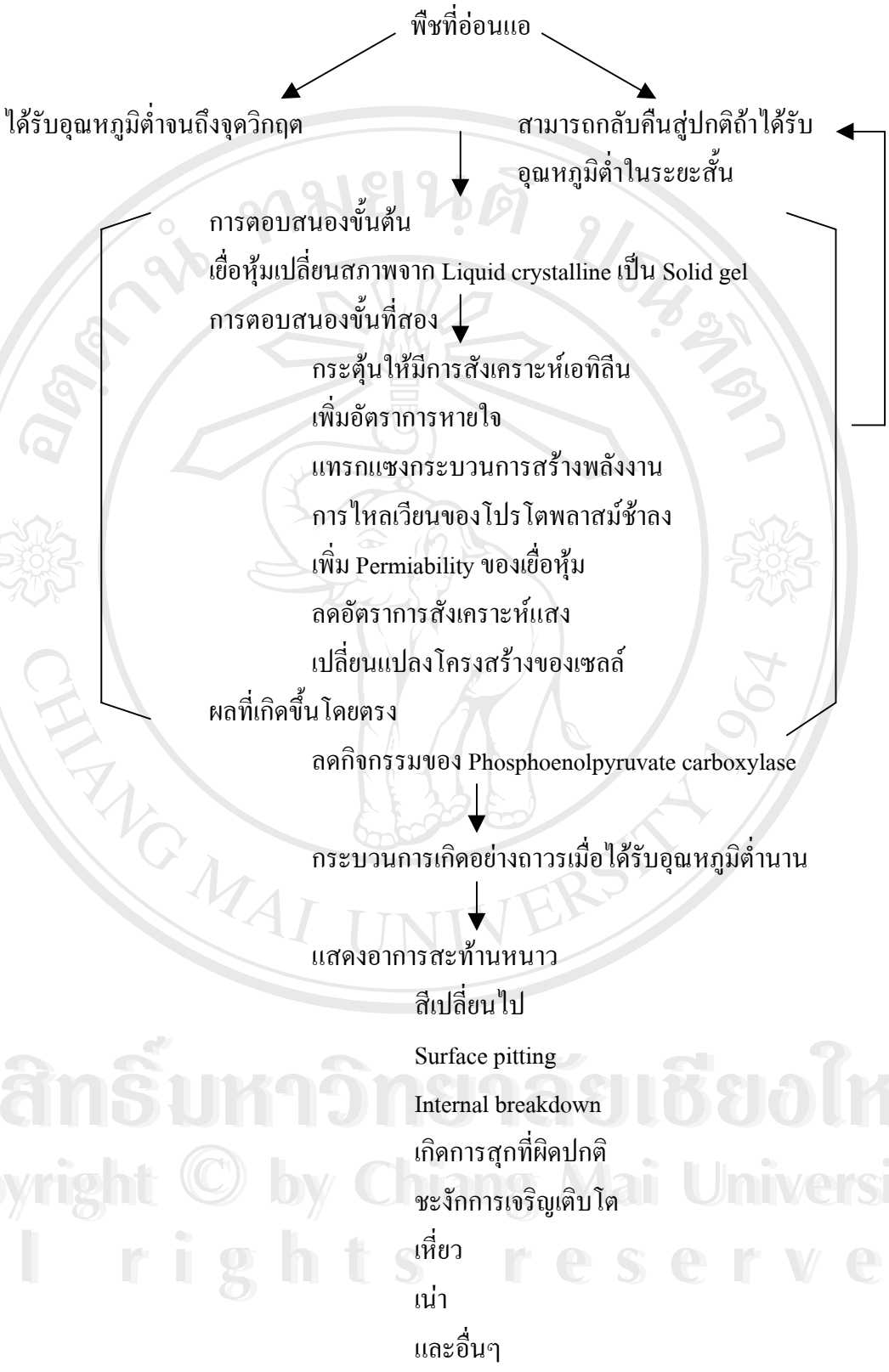
1. การขาดอาหาร (starvation) อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากพืชมีอัตราการหายใจสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง การที่เกิดการสังเคราะห์แสงน้อยลงนั้นเป็นเพราะคลอโรพลาสต์ถูกทำลายไป ซึ่งพบได้ในพืชที่แสดงอาการตั้งแต่อยู่ในสวนมากกว่าที่จะพบกับผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

2. การกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีน การสังเคราะห์เอทิลีนในพืชหลายชนิดจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิสะท้านหนาว โดยจะมีการเพิ่มการสังเคราะห์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)

3. การหายใจผิดปกติ (respiratory upset) อุณหภูมิสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดจะมีผลในการยับยั้งการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การเพิ่มอัตราการหายใจจะเริ่มขึ้นในช่วงที่เกิดอาการผิดปกติ และหลังจากนั้นการหายใจจะลดลงและตาย กลไกของการหายใจที่เพิ่มขึ้นนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่คาดว่าเกิดจาก uncoupling ในกระบวนการ oxidative phosphorylation การตอบสนองต่อการหายใจนี้สามารถใช้เป็นดัชนีให้เห็นว่าได้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น

4. การสะสมสารพิษ (toxin) การเกิดอาการสะท้านหนาว อาจทำให้ผลิตผลบางชนิดมีการสะสมสารพิษ ซึ่งการสะสมสารพิษนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการสร้างและอัตราทำลายสารพิษของผลิตผล เซลล์ที่มีการสะสมสารพิษเนื่องจากกระบวนการทางชีวเคมีปกติถูกรบกวน ทำให้มีกระบวนการทางชีวเคมีที่ผิดปกติเกิดขึ้น การสะสมสารพิษมักจะเกี่ยวข้องกับการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีการสังเคราะห์สารพิษ เช่น อะซิทัลดีไฮด์ และเอทานอล นอกจากนั้นสารพิษบางชนิดอาจเกิดจากการที่ออกซิเจนในเนื้อเยื่อต่างๆ สูงเกินไป เพราะมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจนน้อยลง และมีเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้มีสารพวกเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในเซลล์ แทนการใช้ออกซิเจนตามปกติได้ ถ้าในระบบไซโตโครม (cytochrome system) ของเซลล์มีการสะสมเปอร์ออกไซด์ จะทำให้เซลล์ตายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพันธุ์พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (Wang, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของโปรตีนและเอนไซม์ ที่อุณหภูมิสะท้านหนาวจะมีการสลายตัวของโปรตีนมากกว่าปกติ และอัตราการสลายตัวจะสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติได้ เพราะเซลล์ขาดโปรตีน อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับนัก ระบบของเอนไซม์ส่วนใหญ่ซึ่งได้รับผลกระทบจากอาการสะท้านหนาวนั้น ส่วนมากจะเป็นเอนไซม์ซึ่งสัมพันธ์กับเยื่อหุ้ม เช่นเอนไซม์ซักซิเนตออกซิเดส (succinate oxidase) เอนไซม์ซักซิเนตดีไฮโดรจิเนส (succinate dehydrogenase) และเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ของพืชที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาว จะมีกิจกรรมที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงในระดับอุณหภูมิที่เกิดกระบวนการทางชีวเคมีได้ แต่เอนไซม์ชนิดเดียวกันนี้จากพืชที่อ่อนแอจะมีการเพิ่มขึ้นของ activation energy ของเอนไซม์ได้นั้น เป็นเพราะโปรตีนในเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลง configuration อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสภาพของไขมันในเยื่อหุ้ม นอกจากนั้นผลกระทบอีกอย่างหนึ่งของอุณหภูมิต่ำต่อระบบเอนไซม์ คือ ที่อุณหภูมิต่ำค่า Vmax และค่า Km ของเอนไซม์ จะเปลี่ยนแปลงไป

6. การสร้างและการใช้พลังงาน ผลของการสะท้านหนาวต่อการสร้างและการใช้พลังงานยังเป็นเรื่องที่สับสนอยู่ มีรายงานเป็นจำนวนมากที่เสนอแนะว่า การสะท้านหนาวก่อให้เกิดการขาดพลังงานหรือทำให้เนื้อเยื่อไม่มีความสามารถในการใช้พลังงาน ผลส้มซึ่งได้รับอุณหภูมิต่ำจะเกิดกระบวนการ oxidative phosphorylation ลดลง ซึ่งทำให้เกิดการขาด ATP มีผลทำให้เซลล์เสีย intrigity มีอัตราการหายใจที่ผิดปกติและการออกซิเดชันไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังมีการสะสมสารระเหยที่มีพิษได้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำของพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว คือ อัตราการหายใจของไมโตคอนเดรียลดลง แต่ประสิทธิภาพในการสร้างสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูงจะไม่ถูกรบกวนโดยตรงจากอุณหภูมิต่ำ และไม่ใช่การตอบสนองในขั้นแรก แต่การลดลงของสารประกอบฟอสเฟตเกิดจากการลดประสิทธิภาพกระบวนการออกซิไดซ์ของการหายใจและจะเกิดขึ้นหลังจากพืชแสดงอาการสะท้านหนาวแล้ว

7. การตอบสนองในระดับเซลล์ (cytological responses) เซลล์พืชที่ได้รับอุณหภูมิสะท้านหนาวจะมีความเต่งของเซลล์ลดลง ช่องว่างภายในเซลล์และปริมาตรของเซลล์ลดลง เกิดสิ่งแปลกปลอมภายในเซลล์ และมีการเรียงตัวของผนังเซลล์ผิดปกติ อวัยวะภายในเซลล์หลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ไมโตคอนเดรียจะบวมและเยื่อหุ้มแวคคิวโอสลายตัวไปบางส่วน ทั้งสองกรณีนี้จะพบในเนื้อเยื่อพาเรนไคมาของมะเขือเทศที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นก่อนที่จะแสดงอาการผิวยุบตัว (surface pitting) ในมะเขือเทศนั้น นอกจากไมโตคอนเดรียสลายตัวแล้วส่วนของพลาสติดจะถูกรบกวน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของคลอโรพลาสต์เป็น โครโมพลาสต์เกิดขึ้นได้ไม่ดี และยังมีรายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงของเอนโด-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พลาสมิคเรติคิวลัม การหายไปของไรโบโซม และส่วนของโครมาติน (chromatin) รวมกันเป็นก้อน การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในใบเลี้ยงของมะเขือเทศ คือ การสูญเสียความเต่ง ปริมาตรของไซโตพลาสม์ลดลง มีสารบางชนิดเกิดขึ้นที่ผนังเซลล์ และอวัยวะภายในเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบและผิดปกติไป พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้นจะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการได้รับอุณหภูมิต่ำอย่างหนึ่ง คือ หยุดการไหลเวียนของโปรโตพลาสม์

8. การรั่วไหลของตัวถูกละลายจากเซลล์ (solute leakage) เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไขมัน ทำให้เซลล์ยอมให้สารผ่านเข้าออกได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ตัวถูกละลายที่อยู่ภายในเซลล์ซึมออกสู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในระยะต้นๆ หรือระยะต่อมาเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำก็ได้ ในพริกหวานนั้นพบว่าเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว มีการรั่วไหลของสารจากภายในเซลล์มากเป็น 5 เท่า ของพริกหวานปกติ และประจุที่รั่วไหลออกจากเซลล์ของมันเทศ คือ โปแตสเซียม อาการสะท้านหนาวยังทำให้เกิดการปล่อยสารพวกคาร์โบไฮเดรตและไกลซีนออกจากรากของพืชบางชนิด ซึ่งการรั่วไหลนี้จะลดลงได้โดยการให้แคลเซียมกับเนื้อเยื่อ ดังนั้นการรั่วไหลของสารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตและไกลซีน จึงเกิดจากโครงสร้างที่เปลี่ยนไป ในพืชบางชนิดจะมีการสูญเสียอีเลคโตรไลต์จากเซลล์ด้วย

9. การลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสง เข้าใจว่าความสัมพันธ์กับการที่พืชไม่สามารถสร้างคลอโรฟิลล์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ และยังเกิดกระบวนการ photorespiration ขึ้นด้วย นอกจากนั้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการจับคาร์บอนไดออกไซด์มีกิจกรรมที่ลดลงด้วย เอนไซม์ฟอสโฟ-อีนอลไพรูเวตคาร์บอกซิเลส (phosphoenol pyruvate carboxylase หรือ PEP carboxylase) ในใบของพืช C_4 หลายชนิดจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำมาก พบว่า activation energy ของเอนไซม์ชนิดนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แต่ในพืช C_4 ที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ชนิดนี้ และยังมีอีกแนวความคิดหนึ่งที่คาดว่าการลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดจากการระงับการเคลื่อนย้ายของสารอาหารในท่ออาหารเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำ ทำให้พืชเกิดกลไก feedback นอกจากนั้นยังอาจจะเกิดจากปากใบปิดเพราะการขาดน้ำด้วย เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำพืชดูดน้ำขึ้นมาได้ไม่พอเพียงกับการเสียไปเนื่องจากการคายน้ำ

10. กระบวนการเมแทบอลิซึมถูกรบกวน (metabolic disturbance) เมื่อการเกิดอาการสะท้านหนาว การทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิดในกระบวนการเมแทบอลิซึมจะถูกรบกวนไม่เท่ากัน ทำให้เมแทบอลิซึมที่เกิดจากเอนไซม์แต่ละชนิดมีปริมาณไม่สมดุลกัน บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างปกติ บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า บางปฏิกิริยาเกิดช้ามาก และบางปฏิกิริยาอาจหยุดชะงักได้ ตัวอย่างเช่น หัวมันฝรั่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เอนไซม์ที่ใช้ในไกลโคไลซิสจะถูกยับยั้งมากกว่าการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์น้ำตาลทำให้เกิดการสะสมน้ำตาลซูโครสเพิ่มมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เพราะการเปลี่ยนสถานะของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ดังกล่าวทำให้เอนไซม์ที่เกาะอยู่กับเยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถทำงานได้ด้วย สำหรับพืชที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมากจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำ เพราะกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีจุดแข็งตัวสูงกว่าชนิดไม่อิ่มตัว โดยพืชเมืองร้อนมักจะมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์มากกว่าพืชเมืองหนาว

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลมะม่วง

มะม่วงจัดเป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมาก อาการสะท้านหนาวของผลมะม่วงคือ ผลมะม่วงดิบมีสีผิวและเนื้อบางส่วนคล้ำ ซึ่งอาจเป็นสีม่วงหรือสีเทา บางครั้งผลมะม่วงดิบอาจไม่แสดงอาการที่ผิว แต่อาจแสดงอาการที่เนื้อติดกับเมล็ด ซึ่งจะเกิดสีเทาหรือสีดำคล้ำ ผลมะม่วงอาจเกิดการสุกที่ผิดปกติ รสชาติผิดปกติ และสีเนื้อพัฒนาไม่สมบูรณ์ ความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ผลมะม่วงได้รับอุณหภูมิต่ำ (ดนัย, 2540)

O'Hare and Prasad (1993) รายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เริ่มแสดงอาการการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลมากกว่าผลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ เช่นเดียวกัน ผลมะม่วงพันธุ์ Kensington ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 และ 5 องศาเซลเซียส นาน 6-7 แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะแสดงอาการสะท้านหนาวให้เห็นที่เปลือกของผลมะม่วง (Chaplin *et al.*, 1991) ส่วนผลมะม่วงพันธุ์ Julie เมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวจะมีสีผิดปกติ ที่บริเวณผิวเกิดการยุบตัว สีและรสชาติของเนื้อไม่ดี มีปริมาณของกรดซิตริกสูงคือ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลสุกปกติมีปริมาณกรดซิตริก 0.65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่า 22 องศาบริกซ์ และการยอมรับของผู้บริโภคต่ำกว่าผลมะม่วงที่สุกทันทีหลังจากเก็บเกี่ยว (Sankat *et al.,* 1994)

ผลมะม่วงแต่ละพันธุ์มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา และอายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน โดยทั่วไปผลมะม่วงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12-13 องศาเซลเซียส จะมีอายุการเก็บรักษานานประมาณ 2-4 สัปดาห์ แต่มีมะม่วงบางพันธุ์สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ เช่น ผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยมีอายุการเก็บรักษานาน 20 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พันธุ์หนังกลางวันมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พันธุ์อกร่องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ได้นาน 20 วัน พันธุ์พิมเสนมัน และพันธุ์แรดสามารถเก็บรักษาได้นาน 28 วัน ที่อุณหภูมิ 9-10 องศาเซลเซียส (สายชล, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการลดการเกิดอาการสะท้านหนาว

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อหาวิธีลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผักและผลไม้สดโดยอาศัยเทคนิคต่างๆ เช่น temperature conditioning, intermittent warming, controlled atmosphere, chemical treatment, coating, waxing และ packing เป็นต้น และการใช้ double-step temperature conditioning จะให้ผลดีกว่า single temperature conditioning (Wang, 1993) การลดอาการสะท้านหนาวเป็นการช่วยเพิ่มความต้านทานของเนื้อเยื่อพืชต่ออุณหภูมิต่ำก่อนการเก็บรักษา และการชะลอหรือลดการพัฒนาอาการสะท้านหนาวของพืชภายหลังได้รับอุณหภูมิต่ำ

1. การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษา (Heat treatment)

การใช้ความร้อนไม่ว่าจะเป็นอากาศร้อน น้ำร้อน หรือไอร้อน ฯลฯ ก่อนการเก็บรักษาผลิตผล จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ และลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ ตัวอย่าง เช่น เมื่อนำมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ให้ได้รับความร้อนที่ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำไปบ่มให้สุกที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงที่ไม่ผ่านความร้อนก่อนนำไปเก็บรักษา โดยที่ผลมะม่วงไม่เกิดกลิ่นผิดปกติ (Ketsa *et al.,* 2000) เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เมื่อได้รับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส นาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ (ธเนศวร์และดนัย, 2541) มะม่วงพันธุ์ Keitt ที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ นาน 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเก็บรักษาจะสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (McCollum *et al.,* 1993) ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงกับผลิตผลก่อนการเก็บรักษาสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงนั้นทำให้เนื้อเยื่อพืชมีการสร้างโปรตีนพิเศษขึ้นมา เรียกว่า heat shock protein (HSP) (Lurie and Klein, 1991; Whitaker, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lurie และคณะ (1993) ที่ได้รายงานว่ามะเขือเทศที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 3 วันก่อนการเก็บรักษาแสดงอาการสะท้านหนาวลดลง และมี heat shock protein เพิ่มขึ้น ทำให้ทนต่ออาการสะท้านหนาวได้ ซึ่ง heat shock protein นี้จะถูกสร้างขึ้นภายในเนื้อเยื่อของพืชเมื่อได้รับอุณหภูมิตั้งแต่ 38 องศาเซลเซียส ขึ้นไป แต่ที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส การสร้าง heat shock protein จะถูกระงับ และเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนที่จะชักนำให้มีการสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

heat shock protein คือ 30-240 นาที (Florissen *et al.,* 1996) และนอกจากนี้ผลแอปเปิลที่ได้รับอุณหภูมิสูงจะมีฟอสโฟลิพิด และความหนืด (microviscosity) มากกว่าผลปกติ ทำให้สามารถเก็บรักษาผลแอปเปิลได้นานขึ้นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Lurie *et al.,* 1995)

Woolf *et al.* (1995) รายงานว่า การใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 6 และ 10 ชั่วโมง หรือการใช้อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที กับผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถช่วยป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และการให้ผลอะโวกาโดได้รับอุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษายังสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำได้ ผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Florissen *et al.,* 1996) การเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ Sharwil ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2.2 องศาเซลเซียส นาน 16 วัน สามารถช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ (Nishijima *et al.*, 1995) และเมื่อนำผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass จุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที หลังจากนั้นนำผลอะโวกาโดจุ่มในน้ำร้อน 50 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วจึงนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ และบ่มให้สุกที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส สามารถชักนำให้เกิดการสร้าง HSP ขึ้น และการนำผลอะโวกาโดที่จุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส แล้วนำไปจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อทันที ผลอะโวกาโดมีความทนทานต่ออาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้น (Woolf and Lay-Yee, 1997)

ผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Star Ruby ที่จุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ผลเกรฟฟรุ๊ตที่จุ่มในน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส พร้อมกับมีแปรงปัดนาน 30 วินาที และผลเกรฟฟรุ๊ตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ จะช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Porat *et al.,* 2000) เช่นเดียวกับผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Star Ruby ที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารไทอะเบนดาโซล 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (20 องศาเซลเซียส) ร่วมกับสารอิมมาซาลิล 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ นาน 6 สัปดาห์ จะช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Schirra *et al.,* 2000) ผลไม้ตระกูล citrus เมื่อจุ่มในน้ำร้อน 53 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที หรือการใช้อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้และยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ (Rodov *et a.,* 1995) ผลส้มพันธุ์ Fortune ที่จุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 53 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน จะช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาว การเสื่อมเสีย และการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ (Gonzalez-Aguilar *et al.,* 1997) ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารไทอะเบนดาโซล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 2 นาที การแสดงอาการสะท้านหนาวของผลส้มลดลง (Wild and Hood, 1989) การเก็บรักษาผลพลับพันธุ์ Fuyu ที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส นาน 0.5-3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 6.5 สัปดาห์ จะสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และยังพบว่าในผลพลับที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะมีปริมาณเอทิลีนเพิ่มขึ้นด้วย (Woolf *et al.,* 1997)

2. การลดอุณหภูมิลงตามลำดับขั้น (Step-wise treatment)

พืชหรือผลิตผลของพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้น สามารถปรับสภาพได้โดยการนำพืชหรือผลิตผลไปเก็บรักษาไว้ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตที่จะเกิดอาการสะท้านหนาวเล็กน้อย โดยเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้พืชหรือผลิตผลชนิดนั้นต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ (ดนัย, 2540) เช่น การนำต้นกล้าของมะเขือเทศให้ได้รับอุณหภูมิ 12.5 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงขึ้นไป จะทำให้ต้นกล้าของมะเขือเทศเหล่านี้ทนต่ออาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าพวกที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ การนำพริกหวานไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 5-10 วัน จะสามารถทนต่ออาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสได้ การนำผลเกรฟฟรุ๊ตไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน จะป้องกันหรือลดอาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสได้ ซึ่งการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงอย่างช้าๆ นี้จะช่วยให้ผลิตผลมีเวลาปรับตัวแทนที่จะลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว มีข้อสันนิษฐานว่า ในระหว่างการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ นั้น ภายในเซลล์ของผลิตผลอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มต่างๆ เช่น มีการสร้างฟอสโฟลิพิดซึ่งมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น (จริงแท้, 2544) เช่น เมื่อนำผลมะเขือม่วงมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน แล้วจึงนำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 6.5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน พบว่าเกิดรอยบุ๋มน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 1-2 วัน ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน (Wang, 1993) และการทำให้มะเขือเทศเคยชินกับสภาพอุณหภูมิต่ำ โดยนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน ตามด้วยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน สามารถเก็บรักษาผลมะเขือเทศได้นานขึ้น (Marangoni *et al.,* 1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเก็บรักษาผักและผลไม้ แบบ temperature condition ทำให้ผักและผลไม้ทนต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น การเก็บรักษาผลเกรฟฟรุ๊ตแบบ temperature condition จะมีสควอลีน (squalene) และอัลดีไฮด์น้ำหนักโมเลกุลสูง (long-chain aldehyde) เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา การเก็บรักษาแบบ temperature condition ยังป้องกันการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ และคงไว้ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ riburose 1,5-bisphosphase carboxylase ซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาวในพืชเมืองร้อน (Stamp, 1987 อ้างโดย Wang, 1993)

การเกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้ปริมาณไขมันในผลแตงกวา เมล็ดแตงกวา และเนื้อเยื่อ pericarp ของมะเขือเทศลดลง การลดการสูญเสียของไขมัน ทำได้โดยการใช้ temperature condition โดยพบว่าในผล zucchini squash ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จะยังคงรักษาปริมาณของ phospholipids : phosphatidylcholine, phosphotidylethanolamine, phosphatidylglycerol และ phosphatidylinositol ให้คงอยู่ได้ในระดับสูง แต่กลับพบว่ามีปริมาณของ galactolytics monogalactosyldiacylglycerol และ digalactosyldiacylglycerol ในช่วงที่เกิดอาการสะท้านหนาวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Wang *et al.,* 1992 อ้างโดย Wang, 1993) การเพิ่มขึ้นของ phosphatidylcholine และ phosphotidylethanolamine เป็นสิ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มความทนทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวในระหว่างการทำ temperature condition ของผลแตงกวา (Horv′ath *et al.,* 1983 อ้างโดย Wang 1993) การเคลื่อนย้ายโมเลกุลหรือของเหลวในชั้นเมมเบรน ซึ่งเป็นการแสดงอาการสะท้านหนาวในขั้นต้น การวัดปริมาณของเหลวที่อยู่ในชั้นของ bilayer lipid นั่นคือกรดไขมันอิสระ ที่เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิด การเปลี่ยนแปลงของเมมเบรนจะมีความเกี่ยวเนื่องกับความสัมพันธ์ของสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเมมเบรน (Lyons 1973; Lyons *et al.,* 1964 อ้างโดย Wang, 1993) การใช้ temperature condition ยังช่วยเพิ่มปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในฟอสโฟลิพิด และยังป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ในใบถั่ว แตงกวา และฝ้ายได้ (Wilson and Crawford, 1974 อ้างโดย Wang, 1993) และในทำนองเดียวกันเมื่อนำผล zucchini squash มาผ่านการทำ temperature condition พบว่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ใน phosphatidylcholine และ phosphotidylethanolamine จะมีปริมาณที่สูงกว่าผล zucchini squash ที่ไม่ผ่าน temperature condition (Wang *et al.,* 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved