บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้มเขียวหวานมีถิ่นดั้งเดิมอยู่ในประเทศจีน มีการปลูกกันมาช้านาน ส้มเขียวหวานจัดอยู่ในกลุ่มแมนดาริน (mandarin) เป็นพวกแทนเจอรีน (tangerine) จัดเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ทรงต้นสูงประมาณ 2-8 เมตร ทรงพุ่มมีลักษณะแน่นทึบ ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้ม และมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ใบมีขนาดเล็กรูปร่างรูปไข่ค่อนข้างยาว หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบมีสีเขียวอมเหลือง ผิวหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ตัวใบมีกลิ่น ก้านใบมีปีกแคบหรือไม่มีปีก ดอกมีขนาดเล็ก มีสีขาวและมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ ผลมีรูปร่างกลมแป้น ด้านปลายผลราบหรือเว้าเป็นแอ่งตื้นๆ ฐานผลส่วนใหญ่มน บางสายพันธุ์มีจุกขนาดเล็กและเตี้ย ผิวเปลือกเรียบมีสีเขียว เขียวอมเหลือง หรือส้มอมเหลือง จนถึงแดงอมส้ม ส้มเขียวหวานที่ปลูกในเขตอากาศเย็นจะมีผิวผลสีเหลืองส้ม ผิวเปลือกมีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน เปลือกบาง ปอกง่าย มีกลิ่นหอมแรง ในแต่ละผลมี 10-15 กลีบ แต่ละกลีบมีผนังบาง มีรกน้อย ชานนิ่ม เนื้อมีสีส้ม มีน้ำมากและมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ขนาดผลแตกต่างกัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-8 เซนติเมตร และผลยาวประมาณ 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะห้อยลง เมล็ดมีรูปร่างรูปไข่ จำนวนเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละกลีบ (อภิชาติ, 2543)

ส้มเป็นพืชที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของโลก มีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ และเป็นที่นิยมบริโภคของผู้คนทั่วไป เนื่องจากราคาไม่แพงนัก และมีจำหน่ายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด สามารถหาซื้อมาบริโภคได้ง่าย อีกทั้งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีการนำผลส้มมาใช้เป็นอาหารประจำวันทั้งในรูปการบริโภคผลสดและแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น ดังนั้นพืชตระกูลส้มจึงมีความสำคัญให้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาคของโลก ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มพืชตระกูลส้มออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ตาม Hodson System ได้ดังนี้ (พายัพ, 2542; รวี, 2542; อำไพวรรณและคณะ, 2544)

1. กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Orange group)

เป็นผลส้มกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย ทางแถบทิเบตไปจนถึงจีนและพม่า แบ่งเป็น 2 พวก คือ (พายัพ, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.1 ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange : *Citrus sinensis*)

เป็นผลส้มสดที่ผลิตมากในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้บริโภคผลสดและแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น เมื่อไปแช่เยือกแข็งสามารถเก็บรักษาได้นาน ส้มที่มีรสหวานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1.1.1 ออเรนซ์ มีการปลูกกันมากในแถบเมดิเตอเรเนียน ได้แก่ สเปน อิตาลี และฝรั่งเศส พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า เช่น Hamlin, Berma, Pineapple และ Shamouti

1.1.2 ชนิดที่เนื้อผลมีกรดน้อย ส้มในกลุ่มนี้มีกรดปริมาณน้อย คือ ประมาณ 0.2% เท่านั้น ได้แก่ ส้ม Sukkari ในประเทศอียิปต์ และ de Nice ในประเทศฝรั่งเศส

1.1.3 ชนิดที่มีเนื้อผลสีแดงส้ม ส้มในกลุ่มนี้มีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่เปลือกและในน้ำคั้น รู้จักกันดีในนาม blood orange ได้แก่ ส้ม Moro, Tarocco และ Sanguinelli เป็นต้น

1.1.4 นาเวล (Navel) ลักษณะของส้มกลุ่มนี้ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งนี้อาจมีผลเล็กๆ เกิดขึ้นซ้อนอยู่ และไม่มีเมล็ด

1.2 ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (Sour or Bitter orange : *Citrus aurantium*)

มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น ทางตะวันตกของอินเดีย และแถบเมดิเตอเรเนียนจนถึงทวีปยุโรป ในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 16 กลุ่มซาวออเรนซ์นี้จัดเป็นส้มชนิดแรกที่แพร่กระจายเข้าไปในประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป และสหรัฐอเมริกา เช่น รัฐฟลอริดา

ผลส้มที่มีรสหวานและรสเปรี้ยวมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันเล็กน้อยที่ใบของต้นผลส้มที่รสเปรี้ยวมีสีเข้มกว่า มีก้านใบยาวและปีก (wing) กว้าง ลักษณะผลแบน และสีเข้ม มีเปลือกหนากว่าพวกผลส้มรสหวาน ลักษณะลำต้นสูงใหญ่มีใบหนามาก และทนต่อสภาพอากาศที่เย็นจัดหรือร้อนจัดได้ดีกว่าส้มพันธุ์อื่นๆ

2. กลุ่มส้มจีนและส้มเขียวหวาน (Mandarin group : *Citrus reticulata* Blanco)

ส้มเขียวหวานมีชื่อสามัญว่า แมนดาริน หรือแทนเจอรีน อยู่ในตระกูล Rutaceae จัดเป็นผลไม้กึ่งร้อน มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในประเทศจีน ปลูกมานานทั้งในประเทศจีนและญี่ปุ่น ต่อมามีการแพร่กระจายไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาและแถบยุโรป จนปัจจุบันเป็นผลไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน ในประเทศแถบเอเชียและเอเชียอาคเนย์ เช่น ไทย ญี่ปุ่น และไต้หวัน เป็นต้น ลักษณะของผลส้มกลุ่มนี้ คือ เปลือกนิ่มและล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มแยกออกจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกัน คือ ส้มจีนมีผลโตกว่าส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนากว่า เปลือกขรุขระ ไส้ผลกลวง กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย สีผลและสีเนื้อเป็นสีส้มเข้ม ต้นสูงชะลูด และใบเล็กกว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีส้มอีกหลายชนิดที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น ส้มจุก ส้มแก้ว ส้มแป้น และส้มขี้ม้า เป็นต้น (อภิชาติ, 2543) ส้มในกลุ่มนี้มีความสำคัญทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนซ์ บางครั้งอาจเรียกแทนเจอรีน ได้มีผู้พยายามแยกส้มแมนดารินและแทนเจอรีนออกจากกันโดยใช้ความแตกต่างระหว่างสีของเปลือก เช่น ผลส้มที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดงเรียกว่า แทนเจอรีน พวกที่มีเปลือกสีเหลืองอ่อนๆ เรียกว่า แมนดาริน ได้แก่ พวกส้มจีน เป็นต้น

ส้มกลุ่มแมนดาริน มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย บางพันธุ์มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอินโดจีน ได้แก่ ส้มคิง และส้มคูเนน โบแมนดาริน พันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ พันธุ์ซัซซูม่า ส้มในกลุ่มแมนดารินแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ดังนี้

2.1 ซัซซูม่า (*Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น เป็นพวกที่ทนต่อสภาพอากาศเย็นได้ดีที่สุด จึงสามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศเย็น

2.2 คิงแมนดาริน (*Citrus nobilis* Loureiro) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "King of Siam" มีถิ่นกำเนิดในแถบอินโดจีน พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์คิง

2.3 เมดิเตอเรเนียนแมนดาริน (*Citrus deliciosa* Tenore)

2.4 แมนดาริน (*Citrus reticulata* Blanco) ลักษณะโดยทั่วไปของส้มพวกนี้มีดอกและใบขนาดเล็ก ผลขนาดกลาง-ใหญ่ เปลือกบางและล่อนปอกออกได้ง่าย ผลไม่ค่อยฟ่าม ได้แก่ ส้มเขียวหวาน และส้มจีน สำหรับพันธุ์ในต่างประเทศที่นิยมปลูกมีพันธุ์คลีเมนไทน์ แดนซี่ และพองแกน เป็นต้น (พายัพ, 2542)

3. กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ๊ต (Pomelo and Grapefruit Group)

ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลักษณะลำต้นและทรงพุ่ม แตกต่างกันที่ส้มโอมีลำต้นใหญ่และแข็งแรง ส่วนเกรฟฟรุ๊ตมีทรงพุ่มเล็ก

3.1 ส้มโอ (*Citrus grandis* L. Osbeck) จัดเป็นส้มที่มีผลขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชตระกูลส้มทั้งหมดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ส้มโอแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

3.1.1 ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว มีทั้งชนิดหวานมีปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 0.08-0.10% และชนิดหวานอมเปรี้ยวมีปริมาณกรดทั้งหมด 1.02-1.93% อัตราส่วนของน้ำตาล : กรด เท่ากับ 5.6-17.7 : 1

3.1.2 ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ มีลักษณะคล้ายกับส้มโอธรรมดา ยกเว้นลักษณะสีของเนื้อที่เกิดสารสีแคโรทีนอยด์และไลโคพีน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีตั้งแต่สีชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้ม เป็นที่สะดุดตาผู้บริโภค แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบัน ได้แก่ ไทย จีน และอินโดนีเซีย โดยพันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศไทยแทบทั้งสิ้น ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง และขาวแป้น พันธุ์การค้าของจีน ญี่ปุ่น และไต้หวัน ได้แก่ พันธุ์มาโท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.3 เกรฟฟรุ๊ต (*Citrus paradisi* Macfadyen) มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวัน-ตก ลักษณะผลคล้ายกับผลส้มโอมากแต่มีขนาดเล็กกว่า แหล่งปลูกอยู่ที่รัฐฟลอริดา อิสราเอล จาไมก้า คิวบา และอาเจนตินา เป็นต้น เกรฟฟรุ๊ตแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ

3.1.4 พวกที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์ม๊าซ

3.1.5 พวกที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ ได้แก่ พันธุ์ Star Ruby และ Rio Red เป็นต้น

4. กลุ่มมะนาว (Common acid member)

ได้แก่ พวกซิตรอน (citron) มะนาวฝรั่ง (lemon) และมะนาวไทย (lime)

4.1 มะนาวฝรั่ง (*Citrus limmon* L. Burn f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ปัจจุบันเลมอนมีความสำคัญในตลาดโลกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกาผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด อิตาลีผลิตได้ 40% และสเปนผลิตได้ 5%

4.2 มะนาวไทย (*Ctrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนประเทศมาเลเซีย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ มะนาวรสเปรี้ยวและรสหวานเนื่องจากมีปริมาณกรดน้อย

4.3 ซิตรอน (*Citrus medica* L.) มีถิ่นกำเนิดทางอินเดียตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถุงน้ำหวาน (juice sac) มีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัด และมีเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เปลือกแช่อิ่ม

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลส้ม

ส้มเขียวหวานมีการเจริญเติบโตแบบ simple sigmoid curve ผลมีการเพิ่มขนาดและน้ำหนักตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต Kale and Adsule (1995) ได้แบ่งระยะการเจริญเติบโตของผลส้มออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะที่ผลส้มมีการแบ่งเซลล์ (cell division period) โดยพบได้ในเนื้อเยื่อทุกชนิดยกเว้น บริเวณชั้นนอกสุดของชั้น flavedo และส่วนปลายของถุงน้ำหวาน ผลจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเจริญของส่วนที่เป็นเปลือก (peel) ซึ่งเกิดจากการที่เซลล์แบ่งตัวร่วมกัน ทำให้เกิดการขยายขนาดบ้างเล็กน้อย ทำให้มีการเพิ่มขนาดของผล ใช้เวลาประมาณหนึ่งเดือนถึงหนึ่งเดือนครึ่ง หลังจากดอกบาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และพันธุ์

ระยะที่ 2 ระยะที่ผลส้มมีการขยายขนาดของเซลล์ (cell enlargement period) เป็นระยะที่เกิดการพัฒนาของส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อ (pulp) ถุงน้ำหวานจะขยายตัวเต็มแต่ละกลีบของส้ม (locules หรือ segment) อย่างรวดเร็ว และพบว่าปริมาณน้ำส้มและปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มตามไปด้วย การเพิ่มขนาดของผลส้มเป็นผลมาจากที่เซลล์มีการขยายตัวและเกิดการเปลี่ยนสภาพ เป็นการขยายตัวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชั้น albedo ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวคล้ายฟองน้ำ เปลือกของผลจะเริ่มเปลี่ยนสีเมื่อผลเริ่มเข้าสู่ระยะแก่

ระยะที่ 3 ระยะผลแก่ (maturation period) สีเหลืองที่เปลือกของผลส้มเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม ระยะนี้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบภายในผล คือ ขณะที่เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่พบในน้ำส้มจะลดลง และที่บริเวณเปลือกมีความหนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และขนาดของผลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ในอัตราที่ลดลง

สัณฐานวิทยาของผลส้ม

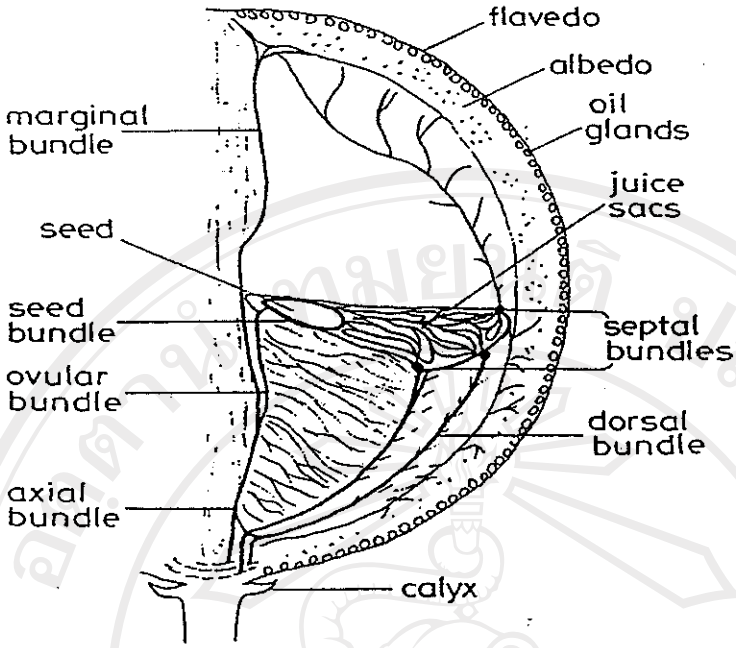
ผลส้มจัดเป็นผลไม้ชนิด hesperidium เจริญเติบโตมาจาก superior ovary แบ่งตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันได้ 3 ส่วน (Ting and Attaway, 1971) (ภาพที่1)

1. ชั้น epicarp ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือกส้ม หรือที่เรียกว่าชั้น flavedo ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่มีสารแคโรทีนอยด์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งจะแสดงสีต่างๆ กันของพืชตระกูลส้ม เช่น ส้มเปรี้ยว แทนเจอรีน เกรฟฟรุ๊ต และมะนาว เป็นต้น ผนังเซลล์ด้านนอกของเซลล์ผิวถูกปกคลุมด้วยคิวติน (cutin) และขี้ผึ้ง (wax) เป็นเครื่องป้องกันการสูญเสียน้ำของผลส้ม และสามารถพบต่อมน้ำมันได้ในชั้น flavedo ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกาะติดกับผิวนอกของผลส้ม ภายในต่อมน้ำมัน ประกอบไปด้วยน้ำมันที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละสายพันธุ์ส้ม

2. ชั้น mesocarp ชั้นด้านในของ epicarp คือชั้น mesocarp หรือที่เรียกว่า albedo เป็นชั้นบางๆ สีขาว มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบเพกตินและเฮมิเซลลูโลสจำนวนมาก ความหนาบางของชั้น albedo จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ส้มเขียวหวานหรือส้มที่ปอกเปลือกง่าย เนื้อเยื่อชั้นนี้จะค่อนข้างบาง แต่ผลเกรฟฟรุ๊ตและส้มโอเนื้อเยื่อในชั้นนี้มีความหนาประมาณ 1-3 เซนติเมตร ชั้น albedo และ flavedo รวมกันเรียกว่าชั้น pericarp ซึ่งโดยทั่วไปจะรู้จักกันว่าเป็นเปลือกส้ม นั่นเอง

3. ส่วนที่บริโภคได้ (edible portions) หรือที่เรียกว่าชั้น endocarp หรือ pulp ประกอบด้วยกลีบส้มจำนวนมาก (carples or segments) ภายในแต่ละกลีบส้มประกอบด้วยเมล็ด และถุงน้ำหวานจำนวนมากที่เชื่อมติดกับผนังกลีบส้ม (vesicle stalk) โดยถุงน้ำหวานจะขยายตัวตามการพัฒนาของผลส้ม ส่วนประกอบทางเคมีจะถูกสร้างขึ้นในเนื้อเยื่อ โดยมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเนื้อเยื่อ เช่น สาร flavonone glycoside ที่ผลิตในชั้นเนื้อเยื่อ albedo จะมีความเข้มข้นมากกว่าที่พบในถุงน้ำหวานหรือที่พบในชั้น flavedo

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1 ลักษณะสัณฐานของผลส้ม

ที่มา : Spiegel-Roy and Goldschmidt (1996)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยแรกที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของผลส้ม ซึ่งจะแตกต่างกันตามภูมิประเทศและภูมิอากาศ หากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของผลส้มเป็นไปอย่างรวดเร็ว ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของผลส้มช้าลง การเจริญเติบโตของผลส้มในช่วงระยะแรกค่อนข้างช้าและรวดเร็วขึ้นในช่วงเวลาต่อมา อายุของผลส้มแต่ละชนิด และแต่ละพันธุ์ตั้งแต่วันดอกบานถึงระยะเก็บเกี่ยวจะแตกต่างกันค่อนข้างมาก หากปลูกในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำระยะความแก่ของผลจะใช้เวลานานขึ้น (รวี, 2540)

ปัจจุบันผลส้มที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ หลายอย่างประกอบกัน เช่น สภาพดินปลูก สภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการบำรุงรักษา เป็นต้น หากผู้ผลิตมีความรู้และความเข้าใจในด้านการดูแลรักษา การให้ปุ๋ยและน้ำ การป้องกันกำจัดศัตรูพืชตลอดจนการจัดการต่างๆ อย่างถูกวิธี จะทำให้ได้ผลส้มที่มีคุณภาพดีขึ้น (อภิชาติ, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของส้ม

1. ขนาดของผลส้ม ผลส้มที่เก็บเกี่ยวมาอาจมีขนาดผลแตกต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้ขนาดของผลส้มแตกต่างกัน ได้แก่ (วรรณวาท, 2545)

ก. การบำรุงต้น ต้นส้มที่ได้รับการดูแลอย่างดี ได้รับน้ำและอาหารเพียงพอในระยะที่เหมาะสม ย่อมให้ผลที่ได้ขนาดตามมาตรฐานหรือขนาดใหญ่

ข. จำนวนผลที่ติดอยู่บนต้น ถ้าจำนวนผลมากหรือติดผลดก จำนวนผลส้มทั้งหมดจะมีขนาดผลเล็กกว่าปกติและคุณภาพด้อยลง เนื่องจากอาหารที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นอาจต้องปลิดผลส้มออกบ้างเพื่อให้มีจำนวนผลที่เหลืออยู่บนต้นจะสามารถได้รับอาหารเพียงพอและผลมีคุณภาพดี หรืออาจเลือกใช้วิธีบำรุงต้นให้มากขึ้นโดยไม่ต้องปลิดผลออก

ค. จำนวนใบ จำนวนใบและจำนวนผลมีส่วนสัมพันธ์กัน ถ้ามีใบน้อยเกินไปต้นส้มจะสร้างอาหารมาเลี้ยงผลไม่เพียงพอ ทำให้ผลมีขนาดเล็กกว่าปกติ คุณภาพของผลด้อยลง ยิ่งผลส้มมีขนาดใหญ่ก็ยิ่งต้องการจำนวนใบมากขึ้น

เมื่อผลส้มเขียวหวานมีขนาดผลเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) จะลดลง โดยปริมาณ TA จะลดลงเร็วกว่า TSS การที่ TSS และ TA ลดลงเมื่อขนาดผลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเจือจางของปริมาณน้ำส้มมีมากขึ้น (Ting and Attaway, 1971) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณภาพของผลส้ม (Ketsa, 1988)

2. สีผิวของผลส้ม ผลส้มที่วางจำหน่ายนั้นมีสีผิวแตกต่างกันทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน เช่น ส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคเหนือ ผิวผลมีสีส้มถึงสีส้มแดง ส่วนส้มเขียวหวานที่ปลูกในภาคกลาง ผิวผลมีสีเขียว เขียวอมเหลือง หรือเหลืองอ่อน การที่สีผิวของผลและสีของเนื้อผลส้มแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ แต่ที่เด่นชัดคือปัจจัยที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศเป็นสำคัญ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับเวลากลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มก็จะยิ่งเข้มขึ้น โดยเฉพาะในระยะที่ผลส้มแก่ อุณหภูมิจะเป็นตัวกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์สีผิวเข้มขึ้น เช่น ผลส้มที่ปลูกทางภาคเหนือจะมีสีเข้มกว่าส้มที่ปลูกในภาคกลาง หรือผลส้มที่แก่ในช่วงอากาศหนาวจะมีสีเข้มกว่าผลส้มที่แก่ในช่วงอากาศร้อนทั้งที่เป็นต้นเดียวกันหรือปลูกในที่เดียวกัน (วรรณวาท, 2545)

สีเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม เป็นผลมาจากรงควัตถุหรือสารสีชนิดต่างๆ ร่วมกัน ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน โดยในช่วงระยะแรกเซลล์ที่ผลส้มมีระดับของคลอโรฟิลล์มาก ต่อมาเมื่อเข้าสู่ช่วงหลังของการเจริญเติบโตระยะที่ 2 คลอโรฟิลล์ที่ผิวส้มจะเริ่มสลายตัวและมีสีของแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นชัดเจนขึ้น (Davies and Albrigo, 1994)

3. ปริมาณน้ำตาลและกรด เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ปริมาณกรดลดลง (Kimball, 1984) ปริมาณน้ำตาลในผลจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประการ เช่น การบำรุงรักษาต้น ถ้าต้นสมบูรณ์แข็งแรงได้รับอาหารและน้ำในอัตราที่พอเหมาะจะมีปริมาณน้ำตาลมาก อายุผลก็เช่นเดียวกัน ถ้าปล่อยให้ส้มอยู่บนต้นนานๆ ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น และปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างน้ำตาลในผลส้มคือ อุณหภูมิในช่วงที่ผลเริ่มจะแก่ ถ้าอุณหภูมิสูงผลส้มจะสร้างน้ำตาลได้มาก ยิ่งมีช่วงอุณหภูมิสูงติดต่อกันนานจะทำให้ผลส้มมีน้ำตาลมากขึ้นหรือรสหวานขึ้น ส่วนปริมาณกรดในผลส้มจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การบำรุงรักษาต้นส้ม อายุของผลส้ม และความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันกับเวลากลางคืน ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ปริมาณกรดในผลจะยิ่งมาก (ยงยุทธ, 2539)

ปริมาณน้ำตาลและกรดในผลส้มเป็นตัวกำหนดรสชาติของผลส้ม ผลส้มที่มีรสชาติดีปริมาณน้ำตาลและกรดต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนระหว่าง 10-12 ถือได้ว่ารสชาติมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ (Baldwin, 1993) ซึ่งทำให้ผลส้มนั้นเป็นที่ถูกใจผู้บริโภค

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวของส้มแต่ละพันธุ์อาจแตกต่างกัน เช่น ส้มพันธุ์วาเลนเซีย ต้องมีสีผิวเปลี่ยนอย่างน้อยประมาณ 25% ส้มบางพันธุ์ใช้อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรด และอัตราส่วนปริมาณน้ำผลไม้ต่อน้ำหนักผล ซึ่งปริมาณจะผันแปรไปตามชนิดและพันธุ์ของส้ม (ดนัยและนิธิยา, 2535) สำหรับส้มเขียวหวานจะเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุประมาณ 9.5-10.5 เดือนหลังจากดอกบาน สีผิวเริ่มมีสีเหลือง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ขั้นต่ำ 8.0-8.8% (จริงแท้, 2542)

ในประเทศอินเดีย ส้มแมนดารินจะเก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้ม น้ำส้มมีความเป็นกรด 0.4% มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 12-14% เป็นต้น (ดนัยและนิธิยา, 2535)

การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว

1. การเปลี่ยนสีเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ตระกูลส้มมักมีการเปลี่ยนสีของเปลือกผลเกิดขึ้น โดยสีเขียวจะหายไปแล้วปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) และเมื่อใช้เอทธิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้มจะมีการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์นี้ด้วย ทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวปิดบังไว้ จึงปรากฏชัดออกมาพร้อมกับการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ใหม่เพิ่มขึ้นด้วย (Gross, 1987) ปริมาณแคโรทีนอยด์ของเปลือกส้มแทนเจอรีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุกและส้มซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บเกี่ยวขณะที่มีสีเขียวอยู่และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลส้มที่ปล่อยให้สุกบนต้น (Gross, 1987) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของสารแคโรทีนอยด์ระหว่างการสุกของผลส้มขึ้นอยู่กับทั้งผลที่ติดอยู่บนต้นและผลที่เก็บเกี่ยวแล้ว (Eliati *et al.*, 1975)

เอทธิลีนเป็นตัวการสำคัญที่เร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์ แคโรทีนอยด์ได้รวดเร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้สีผิวของผลไม้สม่ำเสมอขึ้น (Gross, 1987) การเปลี่ยนสีผิว (degreening) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับผลส้มมาก เนื่องจากผลส้มเมื่อแก่และสามารถเก็บเกี่ยวได้แล้ว แต่หากสีผิวยังเขียวอยู่มาก ถึงแม้จะมีรสชาติและส่วนประกอบทางเคมีภายในเหมาะสมก็ตาม แต่ไม่อาจเปลี่ยนสีผิวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพราะผู้บริโภคคิดว่าผลยังไม่สุก (Cohen, 1978) ทำให้จำเป็นต้องเปลี่ยนสีผิวเพื่อให้ผิวมีสีเหลืองสวยงาม การเปลี่ยนสีผิวในผลไม้ตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในของผลส้ม (Kader, 1985) วิธีการเปลี่ยนสีผิวโดยใช้ก๊าซเอทธิลีนขึ้นกับสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มข้นของก๊าซเอทธิลีนที่ใช้จะแปรตามพันธุ์และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว (ดนัยและนิธิยา, 2535) นอกจากนี้ระยะความแก่ของผลส้มจะมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีผิวด้วย (Vakis, 1975)

2. การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลขณะที่เก็บรักษา (สายชล, 2528) โดยการสูญเสียน้ำเพียง 5-10% ของน้ำหนักจะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติด้อยลง (Peleg, 1985) การสูญเสียน้ำที่มากกว่า 5% จะทำให้ผลเหี่ยวและสูญเสียรูปทรง ยังทำให้เปลือกผลบาง แข็ง ปอกเปลือกยากและวางจำหน่ายไม่ได้ ทั้งๆ ที่คุณภาพภายในผลยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Wardowski *et al.*, 1986)

ส้มเขียวหวานที่เก็บรักษาที่สภาพอุณหภูมิห้อง 28±2 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำประมาณ 8-10% ภายใน 1 สัปดาห์ และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็น (Sonsrivichai *et al.*, 1992) การสูญเสียน้ำของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ สภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้นของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ (ดนัย, 2534) และปัจจัยภายในของผลิตผลเอง เช่น ลักษณะโครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รูปร่าง โครงสร้างผิวเปลือก และขนาดของผล (สายชล, 2528)

สำหรับส้มเขียวหวาน การสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร แต่แปรผกผันกับขนาดของผล นั่นคือมีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับผลส้มที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลส้มที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือกโดยผลส้มที่มีเปลือกหนา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะสูญเสียน้ำมากกว่าผลส้มที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบ (stomata) มากกว่า ขณะเดียวกันผลส้มที่มีเปลือกบางมีชั้นของ flavedo ที่หนากว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดี (Ketsa, 1990)

3. อัตราการหายใจ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นผลของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ขณะที่มีการเจริญเติบโตภายในเซลล์ของผลไม้ต้องใช้พลังงานสูง ทำให้มีอัตราการหายใจสูง เมื่ออัตราการเจริญเติบโตลดลงอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อผลไม้เริ่มสุก แต่ผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทธิลีนต่ำ (ภาพที่ 2) (Vines *et al.*, 1963)

การหายใจของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรตให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอายุการเก็บรักษารวมทั้งคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (สายชล, 2528; จริงแท้, 2538; ดนัย, 2540) การหายใจมี 2 แบบ ได้แก่

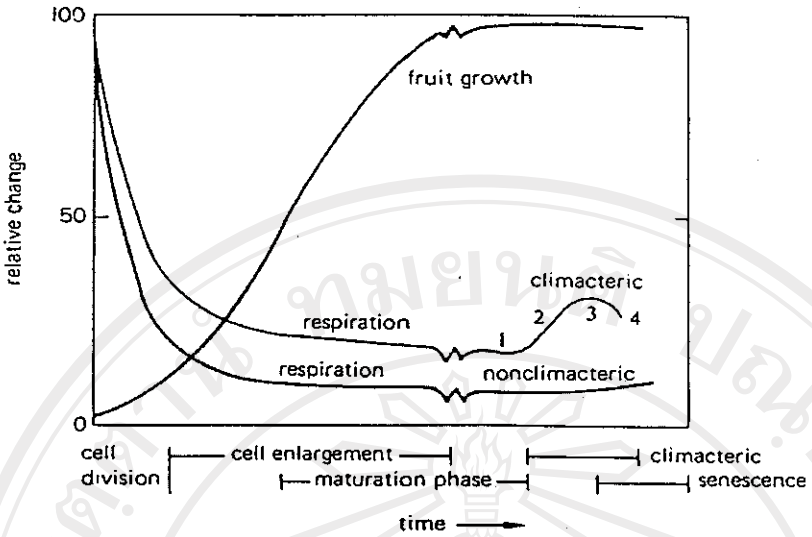
1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการหายใจที่ต้องอาศัยก๊าซออกซิเจนในการออกซิไดซ์น้ำตาลให้เป็น CO_2, H_2O และพลังงาน ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน}$$

2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ไม่ผ่านเข้าสู่กระบวนการ Krebs cycle แต่ถูกรีดิวซ์เป็นกรดแลกติกหรืออะซิตัลดีไฮด์และเอทิลแอลกอฮอล์ เรียกว่า กระบวนการหมัก (fermentation) การหายใจแบบนี้เกิดได้ในสภาพมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำในระหว่างเก็บรักษา ดังสมการ

$$\text{กรดไพรูวิก} \longrightarrow \text{อะซิตัลดีไฮด์} \longrightarrow \text{เอทิลแอลกอฮอล์}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ (Salisbury and Ross, 1985)

อาการสะท้านหนาว (Chilling Injury)

ผลิตผลทางพืชสวนเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ กระบวนเมแทบอลิซึมต่างๆ ยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ การสุก และการเสื่อมสภาพ ตลอดจนกระบวนการป้องกันตนเอง และยังมีการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ แมลง และสัตว์ต่างๆ ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตผลไว้ได้นาน ดังนั้นการเก็บรักษาให้ผลิตผลอยู่ได้นานจึงเป็นการปฏิบัติด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อชะลอเมแทบอลิซึมของผลิตผลและชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ (จริงแท้, 2544) ดังนั้นการเก็บรักษาที่ดีจะต้องพยายามรักษาความสดของผลิตผลให้คงอยู่ได้นานที่สุด โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาผลไม้ (ดนัยและนิธิยา, 2535) ผลผลิตทางพืชสวนที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อน ส่วนใหญ่มักจะอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งมักจะต่ำกว่า 12.5 องศาเซลเซียส แต่จะต้องเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเยือกแข็งของผลิตผลนั้นๆ หากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือเกิดอาการสะท้านหนาว ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น เพราะเกิดการเน่าเสียเร็ว สีผิวผิดปกติ มีการสุกที่ผิดปกติ พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชนั้นก็จะอ่อนแอด้วย ยกเว้นในระยะเมล็ดแก่ที่แห้งแล้วเท่านั้น อาการสะท้านหนาวอาจจะเกิดในสวน ระหว่างการขนส่ง ระหว่างการเก็บรักษาที่ตลาดขายส่งและปลีก หรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านทั่วๆ ไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามผลิตผลที่มีต้นกำเนิดในเขตอบอุ่นบางชนิดอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน (ดนัย, 2540)

สาเหตุของอาการสะท้านหนาว

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีข้อสันนิษฐานว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) หรือเยื่อหุ้มเซลล์ออร์แกนเนลล์บางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาขึ้นภายในเซลล์ และส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย (mitochondrial membrane) และเยื่อหุ้มเซลล์ออร์แกนเนลล์อื่นๆ มีลักษณะอย่างเดียวกันคือ ประกอบไปด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และโปรตีน เยื่อหุ้มเหล่านี้มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งของกระบวนการสำคัญต่างๆ ด้วย เช่น การหายใจ และการสังเคราะห์แสง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล เยื่อหุ้มต่างๆ เหล่านี้จะเสื่อมสภาพลง ทำให้สารตั้งต้น (substrate) ต่างๆ มีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม ทำให้เซลล์ขาดสมดุลและตายในที่สุด นอกจากนั้นแล้วอาการสะท้านหนาวหรืออาการผิดปกติทางสรีรวิทยาอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลชนิดต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันนั้น มีผู้สันนิษฐานว่าเกิดเนื่องจาก side chain ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดของเยื่อหุ้มเหล่านี้แตกต่างกัน กล่าวคือพวกที่เกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบและจะเปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมา เช่น การสะสมของสารพิษทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพและตายไปในที่สุด ส่วนผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีจะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็ยังคงรักษาสถานะที่อ่อนตัวอยู่ได้ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของกรดไขมันในพืชที่ทนทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวกับพวกที่อ่อนแอยังไม่พบความสัมพันธ์ที่แน่ชัด (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่ออุณหภูมิต่ำ

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่ออุณหภูมิต่ำมีดังนี้ (ดนัย, 2540)

การตอบสนองขั้นต้น

การตอบสนองขั้นต้นที่เกิดขึ้นเป็นอย่างแรกของพืชเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออร์แกนเนล โดยเปลี่ยนจากสภาพของเยื่อหุ้มที่เป็นของเหลวเป็นของแข็ง อัตราการหายใจของไมโตคอนเดรียที่สกัดจากพืชพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสะท้านหนาว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อได้รับอุณหภูมิวิกฤต สำหรับอาการสะท้านหนาว ในพืชพันธุ์ที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวจะไม่มีการเปลี่ยนลักษณะของเยื่อหุ้มต่างๆ นอกจากเยื่อหุ้มไมโตคอนเดรียเปลี่ยนสภาพแล้ว ยังพบว่าเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงในชั้นไขมันของเยื่อหุ้ม การเปลี่ยนแปลงสภาพของเยื่อหุ้มอาจจะนำไปสู่การตอบสนองขั้นที่สอง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ถาวรหรือไม่ก็ได้ ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมินั้นๆ และความอ่อนแอของพืชชนิดนั้นด้วย แต่มีการเสนอว่าถ้าหากพืชที่อ่อนแอได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน การเปลี่ยนแปลงขั้นต้นจะนำไปสู่การเสีย membrane intrigity เกิดการรั่วไหลของสารละลาย เยื่อหุ้มเซลล์หมดคุณสมบัติในการแยกอวัยวะต่างๆ จะมี energy of activation สูงขึ้น จากนั้นการไหลของโปรโตพลาสม์ในเซลล์จะหยุดชะงัก อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง อวัยวะภายในเซลล์ทำงานไม่ได้ และเกิดความไม่สมดุลของกระบวนการเมแทบอลิซึม มีการสะสมสารพิษภายในเซลล์และนำไปสู่การแสดงอาการสะท้านหนาว (ดนัย, 2540)

การตอบสนองขั้นที่สอง

1. การขาดอาหาร (starvation) อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากพืชมีอัตราการหายใจสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง การที่เกิดการสังเคราะห์แสงน้อยลงนั้นเป็นเพราะคลอโรพลาสต์ถูกทำลายไป ซึ่งพบได้ในพืชที่แสดงอาการตั้งแต่อยู่ในสวนมากกว่าที่จะพบกับผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

2. การกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีน การสังเคราะห์เอทธิลีนในพืชหลายชนิดจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิสะท้านหนาว โดยจะมีการเพิ่มการสังเคราะห์ (1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid, ACC)

3. การหายใจผิดปกติ อุณหภูมิสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิด จะมีผลในการยับยั้งการหายใจแบบใช้ออกซิเจน การเพิ่มอัตราการหายใจจะเริ่มขึ้นในช่วงที่เกิดอาการผิดปกติ และหลังจากนั้นการหายใจจะลดลงและตาย กลไกของการหายใจที่เพิ่มขึ้นนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดนัก แต่คาดว่าเกิดจาก uncoupling ในกระบวนการ oxidative phosphorylation การตอบสนองต่อการหายใจนี้สามารถใช้เป็นดัชนีให้เห็นว่าได้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การสะสมสารพิษ การเกิดอาการสะท้านหนาว อาจทำให้ผลิตผลบางชนิดมีการสะสมสารพิษ ซึ่งการสะสมสารพิษนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการสร้างและอัตราการทำลายสารพิษของผลิตผล เซลล์ที่มีการสะสมสารพิษเนื่องจากกระบวนการทางชีวเคมีปกติถูกรบกวน ทำให้มีกระบวนการทางชีวเคมีที่ผิดปกติเกิดขึ้น การสะสมสารพิษมักจะเกี่ยวข้องกับการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีการสังเคราะห์สารพิษ เช่น อะซิทัลดีไฮด์ และเอทานอล นอกจากนั้นสารพิษบางชนิดอาจเกิดจากการที่ออกซิเจนในเนื้อเยื่อต่างๆ สูงเกินไป เพราะมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจนน้อย และมีเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ได้สารพวกเปอร์ออกไซด์ในเซลล์ แทนการใช้ออกซิเจนตามปกติได้ ถ้าในระบบไซโตโครม (cytochrome system) ของเซลล์มีการสะสมเปอร์ออกไซด์ จะทำให้เซลล์ตายได้ (ดนัย, 2540)

5. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของโปรตีนและเอนไซม์ที่อุณหภูมิสะท้านหนาวจะมีการสลายตัวของโปรตีนมากกว่าปกติ และอัตราการสลายตัวจะสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติได้ เพราะเซลล์ขาดโปรตีน อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับนัก ระบบเอนของไซม์ส่วนใหญ่ซึ่งได้รับผลกระทบจากอาการสะท้านหนาวนั้นส่วนมากจะเป็นเอนไซม์ซึ่งสัมพันธ์กับเยื่อหุ้ม เอนไซม์ succinate oxidase, succinate dehydrogenase และ cytochrome oxidase ของพืชที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาว จะมีกิจกรรมที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงในระดับอุณหภูมิที่เกิดกระบวนการทางชีววิทยาได้ แต่เอนไซม์ชนิดเดียวกันนี้จากพืชที่อ่อนแอ จะมีการเพิ่มขึ้นของ activation energy ของเอนไซม์ได้นั้น เป็นเพราะโปรตีนที่เป็นเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลง configuration เนื่องมาจากการเปลี่ยนสภาพของไขมันในเยื่อหุ้ม นอกจากนั้นผลเสียอีกอย่างหนึ่งของอุณหภูมิต่ำต่อระบบเอนไซม์ คือ ที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ค่า V_{max} และค่า K_m ของเอนไซม์ เปลี่ยนแปลงไป (ดนัย, 2540)

6. การสร้างและการใช้พลังงาน ผลของการสะท้านหนาวต่อการสร้างและการใช้พลังงานยังเป็นเรื่องที่สับสนอยู่ การสะท้านหนาวก่อให้เกิดการขาดพลังงาน หรือทำให้เนื้อเยื่อไม่มีความสามารถในการใช้พลังงาน ผลส้มซึ่งได้รับอุณหภูมิต่ำจะมีความสามารถในการเกิดกระบวนการ oxidative phosphorylation ลดลง ซึ่งทำให้เกิดการขาด ATP มีผลทำให้เซลล์เสีย intrigity มีอัตราการหายใจที่ผิดปกติและกระบวนการออกซิเดชันของการหายใจไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังมีการสะสมสารระเหยที่มีพิษได้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำของพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว คือ การลดลงของอัตราการหายใจของไมโตคอนเดรีย แต่ประสิทธิภาพในการสร้างสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูงจะไม่ถูกรบกวนโดยตรงจากอุณหภูมิต่ำ และไม่ใช่การตอบสนองในขั้นแรก แต่การลดลงของสารประกอบฟอสเฟตเกิดจากการลดประสิทธิภาพในการเกิดกระบวนการออกซิไดซ์ของการหายใจและจะเกิดขึ้นหลังจากพืชแสดงอาการสะท้านหนาว (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การตอบสนองในระดับเซลล์ (cytological responses) เซลล์พืชที่ได้รับอุณหภูมิสะท้านหนาวจะมีความเต่งของเซลล์ลดลง ช่องว่างภายในเซลล์และปริมาตรของเซลล์ลดลง เกิดสิ่งแปลกปลอมภายในเซลล์ และมีการเรียงตัวของผนังเซลล์ผิดปกติ อวัยวะภายในเซลล์หลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง ในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำไมโตคอนเดรียจะบวมและเยื่อหุ้มแวคคิวโอสลายตัวไปบางส่วน ทั้งสองกรณีนี้จะพบในเนื้อเยื่อพาเรนไคมาของมะเขือเทศที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นก่อนที่จะแสดงอาการผิวยุบตัว (surface pitting) การเปลี่ยนแปลงของอวัยวะภายในเซลล์มันเทศเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันกับมะเขือเทศ

ในส่วนลำต้นใต้ใบเลี้ยงของต้นกล้า (hypocotyl) ของถั่วแขกที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ไมโตคอนเดรียจะแสดงลักษณะผิดปกติ คือ เมทริกซ์ (matrix) และคริสตี้ (cristae) สลายตัว ในมะเขือเทศนั้นนอกจากไมโตคอนเดรียสลายตัวแล้วส่วนของพลาสติดจะถูกรบกวน ทำให้การเปลี่ยนแปลงของคลอโรพลาสต์เป็นโครโมพลาสต์เกิดขึ้นได้ไม่ดี มีบางรายงานเชื่อว่ามีการเปลี่ยนแปลงของเอนโดพลาสมิคเรติคิวลัม การหายไปของไรโบโซม และส่วนของโครมาติน (chromatin) รวมกันเป็นก้อน การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในใบเลี้ยงของมะเขือเทศ คือ การสูญเสียความเต่ง ปริมาตรของ ไซโตพลาสม์ลดลง มีสารบางชนิดเกิดขึ้นที่ผนังเซลล์ และอวัยวะภายในเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบและผิดปกติไป พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้นจะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการได้รับอุณหภูมิต่ำอย่างหนึ่ง คือ หยุดการไหลเวียนของโปรโตพลาสม์เนื่องจากปัจจัยต่างๆ คือ ไขมันในเซลล์และบทบาทของไขมันต่อโครงสร้างและกิจกรรมของโปรโตพลาสม์ ซึ่งพบว่าเป็นลักษณะที่ต่างจากการตอบสนองของพืชที่ต้านทาน การหยุดการไหลเวียนของโปรโตพลาสม์ในพืชซึ่งจะตอบสนองที่อุณหภูมิต่างกันนี้ เนื่องจากปัจจัยต่างๆ คือ ไขมันในเซลล์และบทบาทของไขมันต่อโครงสร้างและกิจกรรมของโปรโตพลาสม์ (ดนัย, 2540)

8. การรั่วไหลของตัวถูกละลายจากเซลล์ (solute leakage) เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไขมัน ทำให้เซลล์ยอมให้สารผ่านเข้าออกได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ตัวถูกละลายในเซลล์ซึมออกสู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในระยะต้นๆ หรือระยะต่อมาของการได้รับอุณหภูมิต่ำก็ได้ ในพริกหวานนั้นพบว่าพวกที่ได้รับอุณหภูมิต่ำจะมีการรั่วไหลของสารในเซลล์มากเป็น 5 เท่าของพริกหวานปกติ ประจุที่รั่วไหลออกจากเซลล์ของมันเทศ คือ โปแตสเซียม การสะท้านหนาวยังทำให้เกิดการปล่อยสารพวกคาร์โบไฮเดรต และไกลซีนออกจากรากของพืชบางชนิด ซึ่งการรั่วไหลนี้จะลดลงได้โดยการให้แคลเซียมกับเนื้อเยื่อ ดังนั้นการรั่วไหลของสารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตและไกลซีน จึงเกิดจากโครงสร้างที่เปลี่ยนไป ในพืชบางชนิดจะมีการสูญเสียอีเล็กโตรไลต์ (electrolyte) จากเซลล์ด้วย (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

9. การลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสง เข้าใจว่าความสัมพันธ์กับการที่พืชไม่สามารถสร้างคลอโรฟิลล์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ และยังเกิดกระบวนการ photorespiration ขึ้นด้วย นอกจากนั้น กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการจับคาร์บอนไดออกไซด์ยังลดลงด้วย เอนไซม์ phosphoenol pyruvate carboxylase (PEP carboxylase) ในใบของพืช C_4 หลายชนิดจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำมาก พบว่า activation energy ของเอนไซม์ชนิดนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แต่ในพืช C_4 ที่ทนทานต่ออาการสะท้านหนาวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ชนิดนี้ ยังมีอีกแนวความคิดที่คาดว่าการลดลงของกระบวนการสังเคราะห์แสง เกิดจากการระงับการเคลื่อนย้ายอาหารในท่ออาหารเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้พืชเกิดกลไก feedback นอกจากนั้นยังอาจจะเกิดจากปากใบปิดเพราะการขาดน้ำด้วย เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำพืชดูดน้ำขึ้นมาได้ไม่พอเพียงกับการสูญเสียไปเนื่องจากการคายน้ำ (ดนัย, 2540)

10. กระบวนการเมแทบอลิซึมถูกรบกวน (metabolic disturbance) ผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาว การทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิดในกระบวนการเมแทบอลิซึมจะถูกรบกวนไม่เท่ากัน ทำให้เมแทบอลิซึมที่เกิดจากเอนไซม์แต่ละชนิดมีปริมาณไม่สมดุลกัน บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างปกติ บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า บางปฏิกิริยาเกิดช้ามาก และบางปฏิกิริยาอาจหยุดชะงักได้ ตัวอย่างเช่น มันฝรั่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เอนไซม์ที่ใช้ในไกลโคไลซิสจะถูกยับยั้งมากกว่าการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์น้ำตาล ทำให้เกิดการสะสมน้ำตาลซูโครสเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เพราะการเปลี่ยนสถานะของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ดังกล่าว ทำให้เอนไซม์ที่เกาะอยู่กับเยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถทำงานได้ด้วย สำหรับพืชที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำ เพราะกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีจุดเยือกแข็งสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และพืชเมืองร้อนมักจะมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์มากกว่าพืชเมืองหนาว

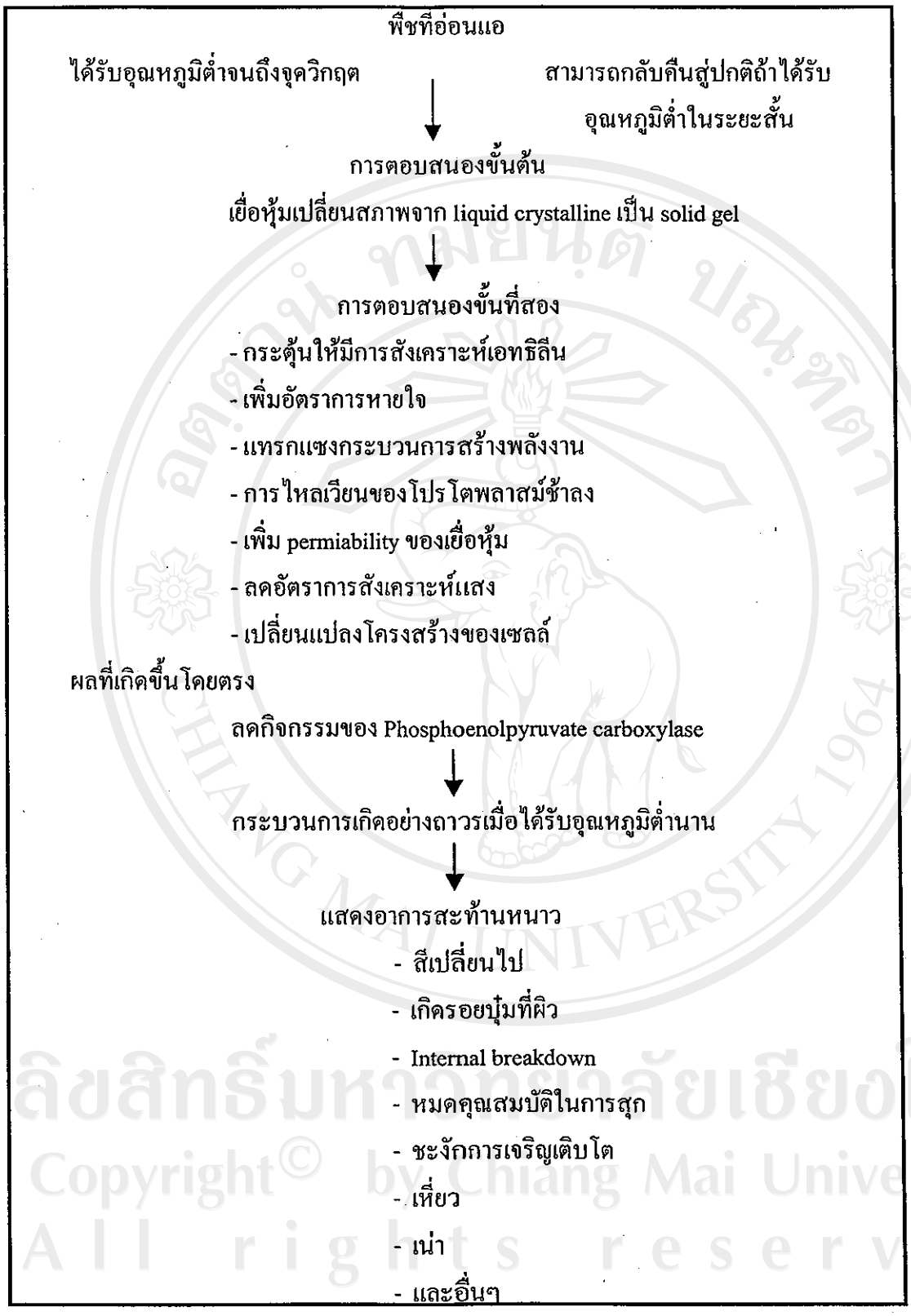
การตอบสนองของพืชต่ออุณหภูมิต่ำแสดงดังภาพที่ 3

ลักษณะอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวเป็นอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง พืชเมืองร้อนส่วนใหญ่แสดงอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2544) ซึ่งอาการผิดปกติแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของผลิตผลนั้นๆ (ตารางที่ 1)

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามมีอาการหลายอาการที่เป็นผลมาจากการได้รับอุณหภูมิต่ำ อาการมักจะเกิดรุนแรงเมื่อนำออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว อาการที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตผล เช่น (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3 การตอบสนองของพืชต่ออุณหภูมิต่ำในพันธุ์พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (Wang, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 อาการสะท้านหนาวและอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเก็บรักษาผักและผลไม้บางชนิดได้โดย ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว

ชนิดของผลิตผล	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อาการ
อะโวกาโด	5-12	Pitting เนื้อและท่อน้ำท่ออาหารเป็นสีน้ำตาล
กล้วย	12	ผิวมีเส้นสีน้ำตาลเกิดขึ้น
แตงกวา	7	สีคล้ำ มีอาการฉ่ำน้ำเป็นบางจุด
มะเขือ	7	surface scald
มะนาวฝรั่ง	10	Pitting ที่เปลือกและมีสีน้ำตาลบริเวณที่เนื้อเยื่อยุบตัว
มะนาว	7	Pitting
มะม่วง	5-12	ผิวมีสีคล้ำอาจจะเกิดปื้นสีน้ำตาล
เมลอน	7-10	Pitting และอ่อนแอต่อเชื้อจุลินทรีย์
มะละกอ	7	Pitting และเกิดอาการฉ่ำน้ำเป็นบางจุด
สับปะรด	6-10	เนื้อมีสีน้ำตาลหรือดำ
มะเขือเทศ	7-12	Pitting และอ่อนแอต่อเชื้อ *Alternaria* sp.
ส้ม	3-5	Pitting ที่เปลือกและมีสีน้ำตาลบริเวณที่เนื้อเยื่อยุบตัว

ที่มา : ดนัย (2540)

1. การยุบตัวของผิว (surface pitting) เป็นอาการที่ผิวของผลิตผลยุบตัวลงเป็นแห่งๆ บริเวณที่ยุบลงอาจจะมีสีผิดปกติไปจากเดิม นอกจากนั้นผลิตผลจะมีการสูญเสียน้ำมาก ทำให้จุดนั้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น เช่น อาการที่เกิดขึ้นกับมะม่วงพันธุ์ Haden (Fuchs *et al.*, 1989) มะม่วงพันธุ์ Keitt (McCollum *et al.*, 1993) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (ธเนศวร์และดนัย, 2541) พริกหวาน (เพชรลดา, 2540) ส้มวาเลนเซีย (Wild, 1990) มะเขือเทศ (Cote *et al.*, 1993) และแตงกวา (Hakim *et al.*, 1999)

2. การฉ่ำน้ำ (water soaking) เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเซลล์ผิวของผลิตผลทำให้เนื้อเยื่อมีสีคล้ำ การฉ่ำน้ำจะเกิดร่วมไปกับการปล่อยสารบางชนิดออกมาจากเซลล์ ซึ่งทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายต่อ ทำให้เกิดการเน่าเสีย เช่น ผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส (ดนัยและคณะ, 2543)

3. เนื้อของผลไม้บางชนิดที่ได้รับอุณหภูมิต่ำจะเปลี่ยนสีจากปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นรอบๆ ท่อน้ำ ท่ออาหาร การเปลี่ยนสีในลักษณะนี้อาจจะเป็นเพราะกิจกรรมของเอนไซม์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

polyphenol oxidase ที่ออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ภายในเซลล์พืชบางชนิด ระบบท่อน้ำท่ออาหารอาจจะกลายเป็นสีน้ำตาลได้ สีที่เปลือกมักจะเปลี่ยนไปในทางที่คล้ำลงจากเดิม เช่น เมื่อเก็บรักษาลิ้นจี่ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน อาการที่เกิดขึ้น คือ จะมีสีน้ำตาลคล้ำที่เปลือกด้านใน (สัณห์, 2538) และอาการที่เกิดขึ้นที่เปลือกมะละกอ คือมีสีมะกอกแก่เป็นจุดๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-2 มิลลิเมตร (Chen and Paull, 1986)

4. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีสารเมแทบอลิซึมต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายต่อได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนย้ายเพื่อวางจำหน่าย เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้มีการเน่าเสียมากขึ้น การวัดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถกระทำโดยการวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ (electrolyte leakage, EL) ซึ่งพบว่า มีค่าสูงขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว (L'Heureux *et al.*, 1993)

ผลมะละกอดิบ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 1, 4, 7, 14 และ 21 วัน จากนั้นนำมาบ่มให้สุกที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เมื่อนำชิ้นส่วนเนื้อเยื่อมาหาอัตราการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ พบว่าเนื้อเยื่อของมะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวและมีอัตราการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สูงกว่ามะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (Chan, 1986)

สำหรับผลมะเขือเทศพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตร-ไลต์สูงกว่าพันธุ์ที่ทนทานต่ออาการสะท้านหนาวประมาณ 2 เท่า และเมื่อเก็บรักษาผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ ผลมะเขือเทศแสดงอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นและมีค่าการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สูงกว่าผลที่ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (McCollum and McDonald, 1991) และเมื่อเก็บรักษามะเขือเทศไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นพร้อมกับเกิดอาการสะท้านหนาว (McDonald *et al.*,1999)

การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สามารถบ่งชี้ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวได้ เช่น ผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นเมื่อเกิดอาการสะท้านหนาว (ธเนศวร์และคนัย, 2541)

5. การเสื่อมคุณภาพของเนื้อผล ผลไม้จะขาดคุณสมบัติในการสุก ผลไม้ดิบที่แก่จัดหลายชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานพอสมควร อาจจะเสียคุณสมบัติที่จะสุกเมื่อนำไปบ่ม เช่น กล้วย และมะละกอ (Couey, 1982) นอกจากนี้มะม่วงพันธุ์ Keitt ขณะที่เกิดอาการสะท้านหนาวมีค่าพีเอชต่ำ และปริมาณของกรดที่ไตเตรทได้สูง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผลที่สุกตามปกติ (Chaplin *et al.*, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. การเสื่อมสภาพการสะท้านหนาว เร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เช่น มะม่วงพันธุ์โชค-อนันต์ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้มีการเกิดโรคมากขึ้น (ธเนศวร์และดนัย, 2541)

7. อายุการเก็บรักษาสั้นลงอันเนื่องมาจากสาเหตุดังกล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าในผลเกรฟ-ฟรุ๊ตพันธุ์ Star Ruby ที่เกิดอาการสะท้านหนาวจะมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง (Porat *et al.*, 2000)

ลักษณะอาการสะท้านหนาวของผลส้ม

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลส้มจะผันแปรขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาพภูมิประเทศที่ปลูกส้ม การเก็บรักษาผลส้มเป็นระยะเวลานานที่อุณหภูมิ 6-7 องศาเซลเซียส อาจทำให้มีการคายน้ำมากและผิวแห้ง ทำให้ขายไม่ได้ เมื่อเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว มีความไวต่อการเน่าเสียได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Schirra and Cohen, 1999) เมื่อผลส้มเกิดอาการสะท้านหนาวจะแสดงอาการเนื้อเยื่อยุบตัวลงเป็นจุดๆ และผิวมีสีคล้ำเป็นสีน้ำตาล อ่อนแอต่อการเน่า นอกจากนั้นยังมีอาการต่อมน้ำมันแตก (Oleocellosis) ซึ่งจะเกิดมากขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลส้มขณะที่เซลล์เต่งมาก ทำให้ต่อมน้ำมันแตกและน้ำมันที่ไหลออกมาทำลายเนื้อเยื่อรอบๆ (ดนัย, 2540)

วิธีการลดอาการสะท้านหนาว

การลดอาการสะท้านหนาวเป็นการช่วยเพิ่มความต้านทานของเนื้อเยื่อพืชต่ออุณหภูมิต่ำก่อนการเก็บรักษา และการชะลอหรือลดการพัฒนาอาการสะท้านหนาวของพืชภายหลังได้รับอุณหภูมิต่ำ การลดอาการสะท้านหนาวทำได้หลายวิธี เช่น

1. การลดอุณหภูมิลำดับขั้น (Step-wise treatment)

พืชหรือผลิตผลของพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวนั้น สามารถปรับสภาพได้โดยการนำพืชหรือผลิตผลไปเก็บในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตที่จะเกิดอาการสะท้านหนาวเล็กน้อย โดยเก็บรักษาไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง พบว่าจะทำให้พืชหรือผลิตผลชนิดนั้นทนต่ออาการสะท้านหนาวได้ (ดนัย, 2540) เช่น การนำต้นกล้าของมะเขือเทศให้ได้รับอุณหภูมิ 12.5 องศาซลเซียส 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 มีข้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สันนิษฐานว่าในระหว่างการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆนั้น ภายในเซลล์ของผลิตผลอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มต่างๆ เช่น มีการสร้างฟอสฟอลิพิด ซึ่งมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น (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 องศาเซลเซียสนาน 4 วัน หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน สามารถเก็บรักษาผลมะเขือเทศได้นานขึ้น (Marangoni *et al.*, 1990)

2. การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษา (Heat treatment)

การใช้ความร้อนไม่ว่าจะเป็นอากาศร้อน น้ำร้อน หรือไอน้ำร้อน ก่อนการเก็บรักษาผลิตผลจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ และลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ เช่น ผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Star Ruby ที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ผลเกรฟฟรุ๊ตที่แช่ในน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส พร้อมกับแปรงขัดที่ผิวนาน 30 วินาที และผลเกรฟฟรุ๊ตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ เกิดอาการสะท้านหนาวลดลง (Porat *et al.*, 2000) ผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Star Ruby ที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารไทอะเบนดาโซล 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (20 องศาเซลเซียส) ร่วมกับสารอิมาซาลิล 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ นาน 6 สัปดาห์ ช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Schirra *et al.*, 2000) ผลส้มพันธุ์ Fortune ที่จุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที และ 53 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน ช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาว การเสื่อมเสีย และการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 1997) ผลส้มพันธุ์ Valencia ซึ่งแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารไทอะเบนดาโซล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 2 นาที แสดงอาการสะท้านหนาว

มะม่วงพันธุ์ Keitt เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเก็บรักษาสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (McCollum *et al.*, 1993) เมื่อนำมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำไปเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำไปบ่มให้สุกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงที่ไม่ผ่านความร้อนก่อนนำไปเก็บรักษา โดยที่ผลมะม่วงไม่เกิดกลิ่นผิดปกติ (Ketsa *et al.*, 1999) เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์เมื่อได้รับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส นาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 20 วัน สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ (ธเนศวร์และคนัย, 2541) ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงกับผลิตผลก่อนการเก็บรักษาสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงนั้นทำให้เนื้อเยื่อพืชมีการสร้างโปรตีนพิเศษขึ้นมา เรียกว่า heat shock protein (HSP) (Lurie and Klein, 1991; Whitaker, 1993) และมีการทดลองรายงานว่าผลไม้ตระกูลส้ม (grapefruit, lemon, oroblanco และ kumquat) ซึ่งจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 2-3 นาที มีความสะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง และช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้และยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น (Rodov *et al.*, 1995) เช่นเดียวกับผลมะเขือเทศที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 3 วันก่อนการเก็บรักษา แสดงอาการสะท้านหนาวลดลง และมี heat shock protein เพิ่มขึ้นทำให้ทนต่ออาการสะท้านหนาวได้ ซึ่ง heat shock protein จะถูกสร้างขึ้นภายในเนื้อเยื่อของพืชเมื่อได้รับอุณหภูมิตั้งแต่ 38 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Lurie *et al.*, 1993) แต่ที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส heat shock protein จะถูกระงับการสร้าง และระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนที่จะชักนำให้มีการสร้าง heat shock protein คือ 30-240 นาที (Florissen *et al.*, 1996)

การใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 6 และ 10 ชั่วโมง หรือการใช้อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที กับผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถช่วยป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และการให้ผลอะโวกาโดได้รับอุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษา ยังสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำได้ ผลอะโวกาโด พันธุ์ Hass ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Woolf *et al.*, 1995) และการเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ Sharwil ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2.2 องศาเซลเซียส นาน 16 วัน สามารถช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ (Florissen *et al.*, 1996)

การนำผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass จุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที หลังจากนั้นนำผลอะโวกาโดมาจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วจึงนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ และบ่มให้สุกที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส สามารถชักนำให้เกิดการสร้าง HSP ขึ้น และการนำผลอะโวกาโดจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ตามด้วยจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสต่อทันที นี้แสดงให้เห็นว่าผลอะโวกาโดมีความทนทานต่ออาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้น (Nishijima *et al.*, 1995; Woolf and Lay-Yee, 1997) การเก็บรักษาผลพลับพันธุ์ Fuyu ที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส นาน 0.5-3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 6.5 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ (Woolf *et al.*, 1997)

3. การใช้อุณหภูมิต่ำสลับอุณหภูมิสูง (Intermittent warming conditioning)

การเก็บรักษาผลไม้สดไว้ที่อุณหภูมิต่ำและสูงสลับกันในช่วงสั้นๆ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นและลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ ตัวอย่างเช่น มันฝรั่งสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ สลับกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์โดยไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (Wang, 1993) และเช่นเดียวกับผลส้มพันธุ์ Olinda สามารถเก็บรักษาได้นาน 25 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์ สลับกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ แต่ถ้าเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เพียงอุณหภูมิเดียวจะเกิดอาการสะท้านหนาว (Schirra and Cohen, 1999) ผลส้มพันธุ์ Temple และ Valencio ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1.1 องศาเซลเซียส นาน 12 สัปดาห์ หรือผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Marsh ที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียสนาน 8 สัปดาห์ สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ โดยนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21.1 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ แต่ถ้าใช้เวลาสลับนาน 2 สัปดาห์ จะให้ผลน้อยลง (Davis and Hofmann, 1973)

การเก็บรักษามะนาวฝรั่งพันธุ์ Primofiori ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส 2 สัปดาห์ สลับกับที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส อีก 2 สัปดาห์ จำนวน 2 รอบ สามารถป้องกัน alternaria rot, peteca, oleocellosis การเกิด pitting ที่เปลือกและลดเปอร์เซ็นต์การเกิด red blotch ได้แต่ไม่มีผลในการควบคุม membranosis (Artes *et al.*, 1993) เช่นเดียวกับผลส้มพันธุ์ Fortune สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน สลับกับ 10 องศาเซลเซียส 3 วัน สามารถเก็บรักษาได้นาน 5 สัปดาห์ โดยไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (Schirra and Mulas, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved