บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ลักษณะทางด้านพฤกษศาสตร์

ลำไย (Longan) เป็นพืชในตระกูล Sapindaceae สกุล *Euphoria* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Euphoria longana* ลำไยเป็นไม้ผลชนิดยืนต้นและนิยมปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ ปัจจุบันปลูกกันมากทางภาคเหนือ มีปลูกบ้างทางภาคใต้และภาคตะวันออก เชื่อกันว่าลำไยมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางพื้นที่ราบของศรีลังกา ภาคใต้ของอินเดีย พม่า และจีน (Subhadrabandhu, 1990) การปลูกลำไยเพื่อการค้าอยู่ในประเทศจีนตอนใต้ ภาคกลางของไต้หวัน และภาคเหนือของประเทศไทย (Tongdee, 1997) พันธุ์ลำไยในประเทศไทยมีมากมายหลากหลาย พันธุ์ที่นิยมปลูกทั่วไป คือ พันธุ์ดอ สีชมพู แห้ว และเบี้ยวเขียว สำหรับพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุดขณะนี้ คือ พันธุ์ดอ ซึ่งให้ผลผลิตคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 80 ของผลผลิตทั้งหมดในประเทศ การที่ชาวสวนนิยมปลูกพันธุ์ดอมากที่สุดเพราะเป็นพันธุ์เบา เก็บเกี่ยวได้ก่อนพันธุ์อื่นทำให้ได้ราคาดี เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ สามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (จริยาและคณะ, 2545)

ลักษณะประจำพันธุ์ของลำไยพันธุ์ดอ

ลำไยพันธุ์ดอหรืออีดอ เป็นพันธุ์ที่ชาวสวนนิยมปลูกกันมากที่สุดในปัจจุบัน เป็นลำไยกลุ่มกระโหลกเป็นพันธุ์เบา คือออกดอกและเก็บเกี่ยวผลได้ก่อนพันธุ์อื่น ทำให้จำหน่ายได้ราคาสูงและตลาดต่างประเทศนิยม ซึ่งสามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ลำไยกระป๋องและลำไยอบแห้ง (นภดลและคณะ, 2543) ต้นลำไยมีลักษณะเป็นพุ่มกว้างมน กิ่งไม่แข็งแรงเปราะหักง่าย ทนแล้งและทนน้ำได้ปานกลาง ใบเป็นใบรวม ใบย่อยจะเรียงสลับกัน ออกดอกเป็นช่อ ยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร ก้านช่ออวบแข็ง ดอกมีสีขาว หรือสีขาวออกเหลือง ขนาดประมาณ 6-8 มิลลิเมตร แบ่งเป็นดอกเพศผู้ ดอกเพศเมีย และดอกสมบูรณ์เพศ ทั้ง 3 ชนิดอาจพบอยู่ในช่อเดียวกัน ลำไยออกดอกและติดผลง่าย ผลมีขนาดปานกลางถึงค่อนข้างใหญ่มีน้ำหนัก 18.5 กรัมต่อผล ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวเล็กน้อย ยกบ่าข้างเดียว และบริเวณฐานผล (หัวขั้ว) ปุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางผลส่วนกว้างประมาณ 2.6 เซนติเมตร ส่วนแคบ 3 เซนติเมตร ส่วนสูงประมาณ 2.4 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลือกมีสีเขียวปนน้ำตาล ผลลำไยที่เจริญเติบโตเต็มที่มีส่วนของ pericarp 3 ชั้น ชั้นนอกสุด (exocarp) เป็นชั้นที่มี cuticle ปกคลุม ชั้นนี้ประกอบด้วยเซลล์ของ epidermis และ subepidermal sclerenchyma ชั้นกลาง (middle mesocarp) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ parenchyma และชั้นในสุด (inner endocarp) ประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็กและผนังเซลล์บาง pericarp มีสีเขียว จนกระทั่งผลเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งช่วงนี้ส่วนของ pericap จะสังเคราะห์สารสีเหลืองขึ้น ผิวผลมีลักษณะเป็นกระหรือตาห่างๆ กระมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อผลมีสีขาวขุ่น ค่อนข้างเหนียว ไม่กรอบ มีกลิ่นหอมเล็กน้อย รสหวาน วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่งความหวานจะลดลง ผลลำไยประกอบด้วยส่วนเนื้อ 72.9 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ด 14.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล เมล็ดโตปานกลาง ลักษณะกลมแบนเล็กน้อย สีดำเป็นมันวาว ขนาดไม่ใหญ่นัก แต่ถ้าปล่อยไว้จนแก่จัดจุกจะขยายใหญ่หรือที่เรียกว่าขึ้นหัว (ธวัชชัยและศิวาพร, 2542 และ Jiang *et al.*, 2002)

Page

ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลำไย < 4-9 > → ย่อได้

ผลลำไยพันธุ์ดอมีช่วงการเจริญเติบโตนับตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลาประมาณ 21 สัปดาห์ ชาวสวนส่วนใหญ่มีความชำนาญในการที่จะดูว่าผลลำไยแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้แล้วโดยสังเกตจากผิวเปลือกด้านนอกเรียบ เปลือกด้านในมีลักษณะเป็นร่างแห เมล็ดเป็นสีดำ เนื้อมีรสหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 16-22 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาถึงส่วนประกอบต่างๆ ของผลลำไยในระหว่างการเก็บเกี่ยวดังแสดงในตารางที่ 1 (Paull and Chen, 1987 อ้างโดยพาวิน, 2543)

การเก็บรักษาผลลำไย

ลำไยเป็นผลไม้กึ่งร้อนที่ไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากลักษณะภายนอกที่ปรากฏรวมทั้งกลิ่นและรสชาติมีคุณภาพด้อยลงและเน่าเสียได้ง่าย เมื่อนำผลลำไยมาเก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิห้อง คือที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส พบว่าผลลำไยมีอายุการเก็บรักษาเพียง 2-3 วันเท่านั้น (Tongdee, 1997) หากเก็บรักษาไว้ในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ เปลือกของผลลำไยจะสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วทำให้เปลือกแห้งและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลลำไยควรประมาณ 85-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากความชื้นสูงเกินไปจะเกิดการฉ่ำน้ำ (water soak) และเน่าเสีย (Jiang *et al.*, 2002) ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาและวิจัยหาวิธีการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลลำไยให้อยู่ในสภาพปกติได้นานที่สุด โดยการเก็บรักษาผลลำไยนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลลำไยแต่ละพันธุ์ วิธีการเก็บรักษาที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (cold storage) และการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere, CA) (Lin *et al.*, 2001) เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและปลอดภัยเพราะไม่มีสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผลิตผล

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยว

ส่วนประกอบ	ปีที่ศึกษา (ค.ศ.)	
	1983	1984
เนื้อผล (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	19.80 ± 0.20	16.50 ± 0.70
เปลือกผล (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	35.70 ± 0.60	35.60 ± 0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	20.10 ± 0.10	18.30 ± 0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	184.00 ± 7.00	154.00 ± 11.00
น้ำตาลซูโครส (มิลลิกรัม/กรัม)	72.00 ± 15.00	29.00 ± 3.00
น้ำตาลกลูโคส (มิลลิกรัม/กรัม)	22.00 ± 17.00	17.00 ± 1.00
น้ำตาลฟรุคโตส (มิลลิกรัม/กรัม)	28.00± 17.00	23.00 ± 1.00
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (มิลลิสมมูล/กรัม)	2.30 ± 0.10	2.10 ± 0.10
พีเอช	6.20 ± 0.10	6.40 ± 0.20
กรดซิตริก (มิลลิสมมูล/กรัม)	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.10
กรดมาลิก (มิลลิสมมูล/กรัม)	0.89 ± 0.16	0.35 ± 0.07
กรดซักซินิก (มิลลิสมมูล/กรัม)	1.85 ± 0.19	1.15 ± 0.11
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิสมมูล/กรัม)	2.00 ± 0.20	1.40 ± 0.20
ปริมาณของฟีนอลทั้งหมด (มิลลิสมมูล/กรัม)	0.80 ± 0.10	0.50 ± 0.10

(ที่มา : Paull and Chan, 1987 อ้างโดย พาวิน, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการเก็บรักษาผลลำไย

1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาผลลำไยไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ของผลลำไยได้ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ผลลำไยสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส ได้นานประมาณ 2-4 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของผลลำไยด้วย และเมื่อเก็บรักษาผลลำไยไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส จะเกิดอาการสะท้านหนาวได้ โดยแสดงอาการเปลือกมีสีคล้ำลงทั้งด้านในและด้านนอก และมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของเปลือกเพิ่มขึ้นมากกว่าผลลำไยปกติ รสชาติผิดปกติ และเน่าเสียง่าย (Kader, 2002 ; ดนัยและคณะ, 2543) การเก็บรักษาผลลำไยไว้ที่อุณหภูมิ 1-5 องศาเซลเซียส สามารถลดการเข้าทำลายของโรคและการเน่าเสียของผลลำไยได้ (Jiang *et al.*, 2002) และพบว่าการเก็บรักษาผลลำไยไว้ที่อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสม (optimum low-temperature) มีผลในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และลดอัตราการหายใจของผลลำไยได้ด้วย (Lin *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีการอื่นๆ มาใช้ร่วมกับวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยให้ดีขึ้น ได้แก่ การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และการเคลือบผิวผลลำไยด้วยสารละลายไคโตแซนร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ผลลำไยพันธุ์ Shixia ที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นาน 15, 20 และ 30 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน พบว่ามีปริมาณของแอนโทไซยานินในส่วนของเปลือกลดลงและมีสีเหลืองหลังจากรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และผลลำไยยังคงรักษาคุณภาพสำหรับการบริโภคไว้ได้ในระหว่างการเก็บรักษา และช่วยยืดอายุการวางจำหน่ายได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลลำไยที่ไม่ได้รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งคุณภาพสำหรับการบริโภคและอายุการวางจำหน่ายจะสั้นลงเมื่อนำผลลำไยออกจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Han *et al.*, 2001) เช่นเดียวกับผลลำไยพันธุ์ Youtanben ที่รมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือไทอะเบนดาโซล์ (thiabendazide) ร่วมกับฟอสที-อลูมิเนียม (phosthy-aluminium) แล้วบรรจุผลลำไยลงในถุงโพลีเอทธีลีน (polyethylene) ที่มีความหนา 0.03 มิลลิเมตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส นาน 46 วัน หลังจากนั้นย้ายผลลำไยออกมาเก็บรักษาต่อใน 3 สภาวะ คือ

1. ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิ โดยย้ายออกจากอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส มาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อีกนาน 8 ชั่วโมง และนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง
2. ย้ายจากอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส มาไว้ที่อุณหภูมิห้องพร้อมกับใส่สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ย้ายจากอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส มาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลองพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ผลลำไยมีอัตราการหายใจลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อย้ายผลลำไยออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลลำไยมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนผลลำไยที่ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิและมีสารต้านออกซิเดชันยังคงมีอายุการวางจำหน่ายได้นานประมาณ 32 ชั่วโมง เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลลำไยที่รมด้วยก๊าซซัล-เฟอร์ไดออกไซด์มีสีผิวปกติ และเนื้อของผลลำไยยังคงมีคุณภาพสำหรับการบริโภคที่ดี ผลลำไยที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และใส่สารต้านออกซิเดชันยังเป็นที่ต้องการของตลาด 100 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 78 ชั่วโมง (Lin *et al.*, 2001)

การเคลือบผิวผลลำไยด้วยสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ ไคโตแซนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลลำไยได้ โดยช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำหนัก และการเน่าเสีย ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวและการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ PPO และรักษาคุณภาพสำหรับการบริโภค (Jiang and Li, 2001)

2. การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ

การเก็บรักษาวิธีนี้เป็นการควบคุมสภาพของบรรยากาศโดยทำให้ส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศแตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ คือลดปริมาณของก๊าซออกซิเจนให้น้อยลง และเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลลดลง ลดกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ให้ช้าลง ลดการสังเคราะห์และการทำงานของก๊าซเอทธิลีน รวมทั้งยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้นานขึ้น วิธีนี้นิยมใช้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (ดนัยและนิธิยา, 2535) เช่น ผลลำไยพันธุ์ Chuliang และ Shixia ที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 4 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ หรือมีก๊าซออกซิเจน 70 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 40 วัน พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือก และการเน่าเสียของผลลำไยได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาโดยการดัดแปลงบรรยากาศ ที่มีก๊าซออกซิเจน 15-19 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2-4 เปอร์เซ็นต์ และการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูง ทำให้มีการผลิตเอทธานอลในเนื้อของผลลำไยลดลง มีค่าพีเอชของเปลือกต่ำลงและผลลำไยมีสีผิวปกติ ในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง คือมีก๊าซออกซิเจน 4 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีการเน่าเสียลดลง และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลลำไย (Tian *et al.*, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลลำไย

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ปัญหาของผลลำไยภายหลังการเก็บเกี่ยว คือสีผิวเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วัน ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลต่อรสชาติ แต่ทำให้ผลลำไยมีราคาต่ำลง (Jiang *et al* ., 2002) เช่นการเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวเปลือกมีสีคล้ำลงทั้งด้านในและด้านนอกเนื่องจากผลลำไยแสดงอาการสะท้านหนาว (ดนัยและคณะ, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าผลลำไยพันธุ์ดอที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกทั้งด้านในและด้านนอกของผลลำไย ซึ่งผลลำไยมีผิวเปลือกด้านนอกคล้ำลง เนื่องจากค่า L*, ค่า Chroma และค่า h° ของเปลือกด้านนอกลดลง โดยมีค่า L* เท่ากับ 46.21 และ 41.08 มีค่า Chroma เท่ากับ 28.66 และ 27.80 และมีค่า h° เท่ากับ 72.83 และ 66.84 องศา ในวันเริ่มต้นและภายหลังการเก็บรักษานาน 12 วัน ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลลำไย พบว่าค่า L* และ ค่า h° มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่า L* เท่ากับ 75.27 และ 66.23 มีค่า Chroma เท่ากับ 20.11 และ 24.43 และมีค่า h° เท่ากับ 85.42 และ 77.67 องศา ในวันเริ่มต้นและภายหลังการเก็บรักษานาน 12 วัน ตามลำดับ (ศิริโสภา, 2546) การที่เปลือกของผลลำไยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอาจเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำและ/หรือความเครียดเมื่อได้รับความร้อน การเสื่อมสภาพ การเกิดอาการสะท้านหนาว และมีการเข้าทำลายโดยโรคและแมลง (Jiang *et al*., 2002)

2. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการสุกของผลลำไย และค่อยๆ ลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยว น้ำตาลที่พบมากคือ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุคโตส และน้ำตาลกลูโคส ปริมาณน้ำตาลจะผันแปรผันไปตามกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เตส ระยะความแก่ และพันธุ์ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาผลลำไยไว้ในห้องเย็น (Jiang *et al*., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของดนัยและคณะ (2543) ที่รายงานว่าการเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 1, 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช และปริมาณวิตามินซี ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีลดลง มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้น และสูงกว่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อของผลลำไยที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส และผลลำไยพันธุ์ดอที่ได้รับอุณหภูมิสูง 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซี โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีลดลง มีปริมาณการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของเปลือกเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเช่นกัน (ไพศอล, 2545) ผลลำไยพันธุ์ Shixia ที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นาน 15, 20 และ 30 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน ไม่ผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีในส่วนของเนื้อ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีลดลง ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Han *et al.*, 2001) นอกจากนั้นยังพบว่าการเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ Chuliang และ Shixia ในสภาพการควบคุมบรรยากาศที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้ค่าพีเอชต่ำลงในส่วนของเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีของเนื้อลดลง โดยเฉพาะในผลลำไยพันธุ์ Shixia มีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษา (Tian *et al.*, 2002)

3. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

ผลลำไยเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทธิลีนต่ำ โดยมีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 8-12 และ 15-20 มิลลิกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีอัตราการสังเคราะห์ก๊าซเอทธิลีน ต่ำกว่า 0.1 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (Kader, 2002) อัตราการหายใจของผลลำไยพันธุ์ Shixia จะลดลงในช่วงวันแรกภายหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มสูงขึ้น การที่มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ การเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการหายใจลดลงอย่างช้าๆ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ ผลลำไยปล่อยก๊าซเอทธิลีนออกมาน้อยกว่า 2.3 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้ามีเชื้อราเข้าทำลายผลลำไยจะปล่อยก๊าซเอทธิลีนออกมามากถึง 28.3 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาการสะท้านหนาว

ผลิตผลพืชสวนที่มีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.5 องศาเซลเซียส จะอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว ความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวมิได้เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำแข็งขึ้นภายในเซลล์ จึงแตกต่างจากอาการ Freezing Injury พืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวจะไวต่ออุณหภูมิต่ำตลอดระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งส่วนของพืชนั้นก็จะอ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำด้วย ยกเว้นในระยะที่เมล็ดแก่และแห้งแล้วเท่านั้น อาการสะท้านหนาวอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่อยู่ในสวน ระหว่างการขนส่ง ระหว่างการเก็บรักษา ระหว่างการขายส่งและขายปลีก หรือแม้กระทั่งในตู้เย็นตามบ้านทั่วๆ ไป อย่างไรก็ตามผลิตผลที่มีแหล่งกำเนิดในเขตอบอุ่นบางชนิดก็อาจอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน (ดนัย, 2540)

ลักษณะอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของผลิตผลแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป การเกิดอาการสะท้านหนาวเป็นผลมาจากการได้รับอุณหภูมิต่ำ และอาการมักเกิดรุนแรงเมื่อนำผลิตผลออกมาสู่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นพอสรุปได้ดังนี้

1. Surface Pitting เป็นอาการที่ผิวของผลิตผลยุบตัวลงเป็นแห่งๆ บริเวณที่ยุบตัวลงอาจมีสีผิดปกติไปจากเดิม นอกจากนั้นผลิตผลสูญเสียน้ำมาก ทำให้จุดนั้นขยายขนาดใหญ่ขึ้นพบมากในผลมะเขือเทศ (Cote *et al.*,1993 ; Whitaker, 1993) และพริกหวาน (Mencarelli *et al.*, 1993 ; เพชรดา, 2540)

2. อาการฉ่ำน้ำ เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเซลล์ผิวของผลิตผลทำให้มีสีคล้ำ อาการฉ่ำน้ำมักเกิดร่วมกับการปล่อยสารบางชนิดออกมาจากเซลล์ ซึ่งทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย อาการฉ่ำน้ำมักเกิดกับส่วนของใบ ทำให้ใบเหี่ยวและแห้งไปในที่สุด (ดนัย, 2540)

3. การเปลี่ยนสีของเนื้อและเปลือก เนื้อของผลไม้บางชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำจะเปลี่ยนจากสีปกติเป็นสีน้ำตาล โดยมักจะเกิดขึ้นรอบๆ ท่อน้ำและท่ออาหาร การเปลี่ยนสีในลักษณะดังกล่าวอาจเป็นเพราะกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ที่ออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในเซลล์ เช่น ส้มเขียวหวาน (*citrus reticulata*) มีจุดสีน้ำตาลที่เปลือก ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของสารประกอบฟีนอล เป็นสาเหตุให้มีการตายของเนื้อเยื่อเกิดขึ้น (Martinez-Tellez and Lafuente, 1993) เช่น อาการที่เกิดขึ้นกับเปลือกของผลลิ้นจี่ (สัณห์, 2538) และผลลำไยโดยเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลคล้ำบริเวณเปลือกด้านในและด้านนอก (ดนัยและคณะ, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การสลายตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีสารเมแทบอไลท์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาลและแร่ธาตุต่างๆ ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของผักและผลไม้ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การขนย้ายและการวางจำหน่าย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียมากขึ้น การวัดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถกระทำได้โดยการวัดการรั่วไหลของอีเล็กโตรไลต์ ซึ่งพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อผลไม้เกิดอาการสะท้านหนาว (L'Heureux *et al.*, 1993) ตัวอย่างเช่น ผลมะเขือเทศพันธุ์ที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สูงกว่าพันธุ์ที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวประมาณ 2 เท่า และเมื่อเก็บรักษาผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ ผลมะเขือเทศแสดงอาการสะท้านหนาวและมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์สูงกว่าผลที่ไม่แสดงอาการสะท้านหนาว (McCollum and McDonald, 1991) การเก็บรักษาผลมะเขือเทศพันธุ์เดลต้า ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน ทำให้มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลมะเขือเทศเกิดอาการสะท้านหนาว นันทวุฒิ (2545) เช่นเดียวกับผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่แสดงอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส (ธเนศวร์, 2541) และผลลำไยพันธุ์ดอแสดงอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส (ดนัยและคณะ, 2543) และเมื่อผลไม้แสดงอาการสะท้านหนาวทำให้มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์จากเปลือกเพิ่มขึ้น ดังนั้นการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์จึงสามารถบ่งชี้ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวของผลไม้ได้ (ดนัย, 2540)

5. ขาดคุณสมบัติในการสุก ผลไม้ดิบแก่จัดหลายชนิดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานพอสมควร อาจทำให้ผลไม้มีการสุกผิดปกติได้เมื่อนำไปบ่ม เช่น ผลมะละกอพันธุ์แขกดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าผลมะละกอไม่สามารถสุกได้ตามปกติ (ลดาศิริ, 2541 ; สุทธิวัลย์, 2541)

6. อายุการเก็บรักษาสั้นลง เนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ผลไม้บางชนิดมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง เช่น มะม่วงที่แสดงอาการสะท้านหนาวจะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วและอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรค (ธเนศวร์, 2541)

7. ส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เช่น มักมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ

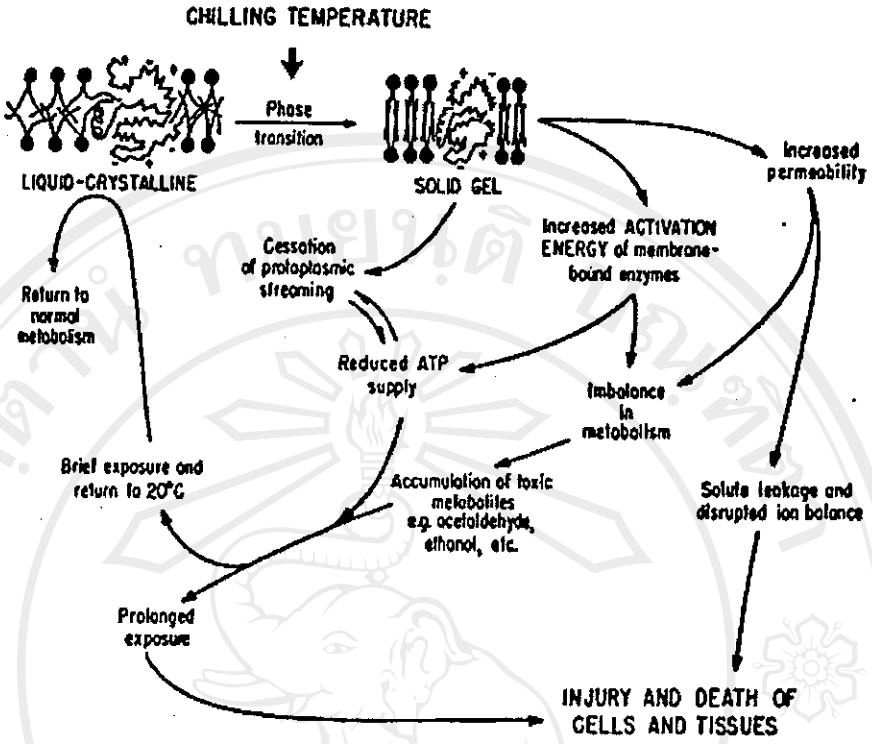
8. ขาดคุณสมบัติในการเจริญต่อเนื่อง เช่น ไม่สามารถงอกได้ ซึ่งส่งผลเสียไปถึงส่วนขยายพันธุ์ของพืชต่างๆ ที่เก็บรักษาในสภาพที่อุณหภูมิต่ำเกินไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาว

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีผู้สันนิฐานว่าเกิดจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มอวัยะภายในเซลล์บางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป ซึ่งส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ขึ้นและส่งผลให้เซลล์ตายได้ในที่สุด เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโตรคอนเดรีย (mitocondrial membrane) และเยื่อหุ้มอวัยวะอื่นๆ มีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกัน คือเป็นชั้นของไลโพโปรตีน ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และโปรตีน เยื่อหุ้มเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งที่เกิดกระบวนการสำคัญต่างๆ ด้วย เช่น การหายใจและการสังเคราะห์แสง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลเยื่อหุ้มต่างๆ นี้จะเสื่อมสภาพลง การควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ จะเสื่อมลง ทำให้สารตั้งต้นมีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม ทำให้เซลล์ขาดสมดุลและตายในที่สุด นอกจากนั้นแล้วอาการสะท้านหนาว หรืออาการผิดปกติทางสรีรวิทยาอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันนั้น มีผู้สันนิฐานว่าเกิดเนื่องจากกรดไขมันในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเหล่านี้แตกต่างกัน กล่าวคือ พวกที่เกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายจะเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) และจะเปลี่ยนสถานะทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมา เช่น การสะสมสารพิษ ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพลงและตายไปในที่สุด (ภาพที่ 1) ส่วนในผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำได้กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของฟอสโฟลิปิดจะเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็ยังคงรักษาสถานะที่อ่อนตัวอยู่ได้ (จริงแท้, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1 สมมุติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาวในพืช (Lyons, 1973)

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่ออุณหภูมิต่ำ

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกิดขึ้นในพืชเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำนั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกิดขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงและความสามารถของพืชที่จะทนต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้หรือไม่เป็นปัจจัยที่กำหนดว่าพืชชนิดนั้นๆ จะทนหรืออ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว การตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากอุณหภูมิต่ำของพืชที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก (primary response) เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มอวัยวะภายในเซลล์ โดยเปลี่ยนสภาพของเยื่อหุ้มจากลักษณะที่อ่อนตัวไปเป็นลักษณะที่แข็งตัว การเปลี่ยนแปลงสภาพของเยื่อหุ้มนี้อาจนำไปสู่การตอบสนองระยะที่สอง (secondary response) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ถาวรหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ และความอ่อนแอของพืชชนิดนั้นด้วย หากพืชที่อ่อนแอได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน การเปลี่ยนแปลงขั้นต้นจะนำไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

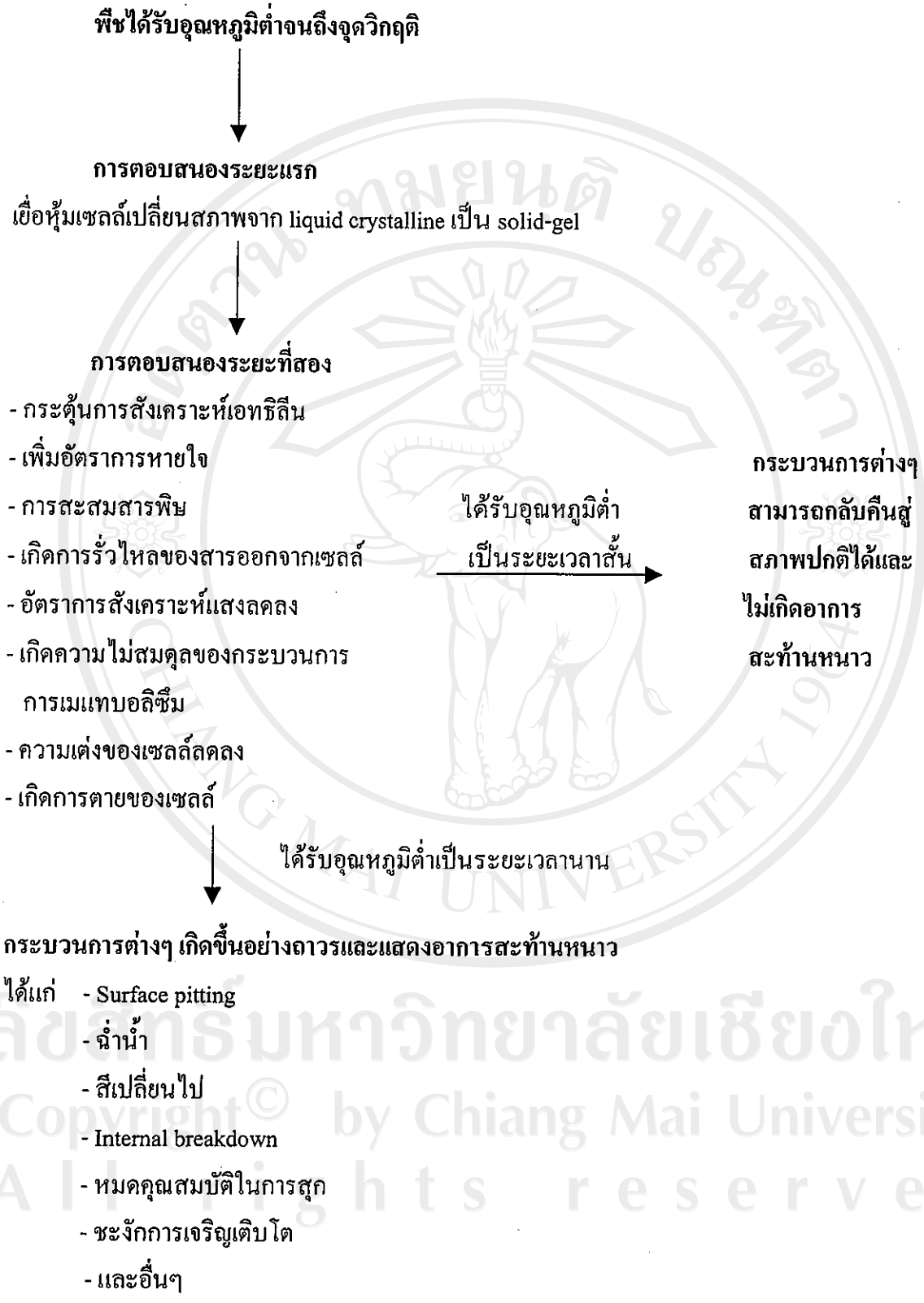
สู่การสูญเสีย membrane integrity เกิดการรั่วไหลของสารละลาย ได้แก่ การรั่วไหลของตัวถูกละลายออกจากเซลล์ (solute leakage) เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงสภาพของกรดไขมัน ทำให้เซลล์ยอมให้สารผ่านเข้า-ออกได้ง่ายขึ้น ทำให้เยื่อหุ้มหมดคุณสมบัติในการแบ่งส่วนของอวัยวะต่างๆ ออกจากกัน มีอัตราการหายใจลดลง เอนไซม์ที่ติดอยู่กับเยื่อหุ้มต่างๆ มี energy of activation สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลง configuration ของเอนไซม์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสภาพ ของกรดไขมันในเยื่อหุ้ม จากนั้นการไหลของโปรโตพลาสม์ภายในเซลล์จะหยุดชะงัก อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง อวัยวะต่างๆภายในเซลล์ทำงานไม่ได้ และเกิดความไม่สมดุลของกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิดในกระบวนการเมแทบอลิซึมถูกรบกวนไม่เท่ากัน ทำให้เมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นมีปริมาณไม่สมดุลกัน นอกจากนี้ยังมีการสะสมสารพิษภายในเซลล์ ซึ่งการสะสมสารพิษนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการสร้างและอัตราการทำลายสารพิษของพืชเอง พืชที่ได้รับอุณหภูมิต่ำนานเกินไปไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดอันตรายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อ จึงแสดงอาการสะท้านหนาว และการตายของเนื้อเยื่อในที่สุด (ภาพที่ 2) (ดนัย, 2540 ; Wang, 1982 ; Wang, 1990)

page (14-19)

การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไย

ผลลำไยมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยวเพียง 2-3 วัน การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำ และ/หรือความเครียดเนื่องจากการได้รับความร้อน การเสื่อมสภาพ การเกิดอาการสะท้านหนาว และมีการเข้าทำลายของโรคและแมลง การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจะเริ่มเกิดที่ชั้นของ mesocarp ตามด้วย endocarp หลังจากนั้นจะแพร่กระจายไปทั่ว pericarp surface โดยเฉพาะที่ pericarp และชั้นนอกของ mesocarp (Jiang *et al.*, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 การตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว (Wang, 1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ของผักและผลไม้ คือเอนไซม์ PPO สารประกอบฟีนอลที่เป็นสารตั้งต้น พีเอช และอุณหภูมิ

1. เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase : PPO)

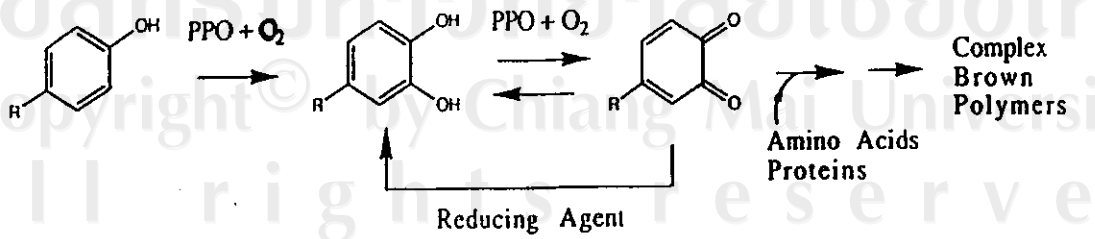
เอนไซม์ PPO เป็นโปรตีนชนิด metalloprotein คือ มีทองแดงเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล มีชื่อตามระบบแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1.EC.1.14.18.1 ได้แก่ monophenol monooxygenase, creslose หรือtyrosinase

กลุ่มที่ 2 EC.1.10.3.2 ได้แก่ diphenol oxidase, catechol oxidase หรือ diphenol oxygen oxidoreductase

กลุ่มที่ 3 EC.1.10.3.1 ได้แก่ laccsae หรือ p-diphenol oxygen oxidoreductase

เอนไซม์ PPO สามารถพบได้ในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ (Lee and Whitaker, 1995) หน้าที่ของเอนไซม์ PPO ในพืชชั้นสูงมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับกลไกการต่อต้านเชื้อโรคที่เกิดจากจุลินทรีย์และแมลง (Busch, 1999) การทำให้เกิดจุดไหม้ (necrosis) บนเนื้อเยื่อผลไม้ (Paull and Chen, 2000) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืช ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืชเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์ PPO จะเกิดปฏิกิริยา ไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ได้เป็น ออโท-ไดฟีนอล (*o*–diphenol) สารนี้จะถูกออกซิ ไดซ์ต่อให้เป็นออโท-ควิโนน (*o*–quinone) จากนั้นสารออโท-ควิโนนจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโน และสารประกอบอื่นๆ โดยการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ได้เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสีน้ำตาลและมีโครงสร้างซับซ้อน (Mayer and Harel, 1979 ; Lyengar and McEvily, 1992) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO (Lyengar and McEvily, 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีความสัมพันธ์กับความเสียหายทางกายภาพของผลไม้ โดยอาจเกิดขึ้นจากการชักนำของอาการสะท้านหนาว การได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป การสูญเสียน้ำ การเสื่อมสภาพของผลไม้ และการเข้าทำลายของโรคและแมลง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของเซลล์ได้รับความเสียหาย เมื่อโครงสร้างของเซลล์เกิดความเสียหาย เอนไซม์ที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์และช่องว่างภายในเซลล์จะไหลออกมาพบกับสารตั้งต้น เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น (Underhill, 1992) ซึ่ง Jiang (1999) สกัดแยกเอนไซม์ PPO ในเปลือกของผลลำไยพันธุ์ Shixia และทำให้บริสุทธิ์ พบว่าเอนไซม์ PPO ในเปลือกของผลลำไยสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ในช่วงพีเอช 4-7 โดยมีพีเอชที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอช 6.5 และอุณหภูมิที่เหมาะสม คือที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยสารตั้งต้นที่เอนไซม์ PPO จากเปลือกของผลลำไยทำปฏิกิริยาด้วยได้แก่ 4-เมทิลแคตีคอล และแคตีคอล และพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ค่อนข้างต่ำเมื่อเก็บเกี่ยวผลลำไยและลดลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 7 วันแรก และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งภายหลังจากเก็บรักษานาน 30 วัน และลดลงอีกครั้งในช่วงสุดท้าย

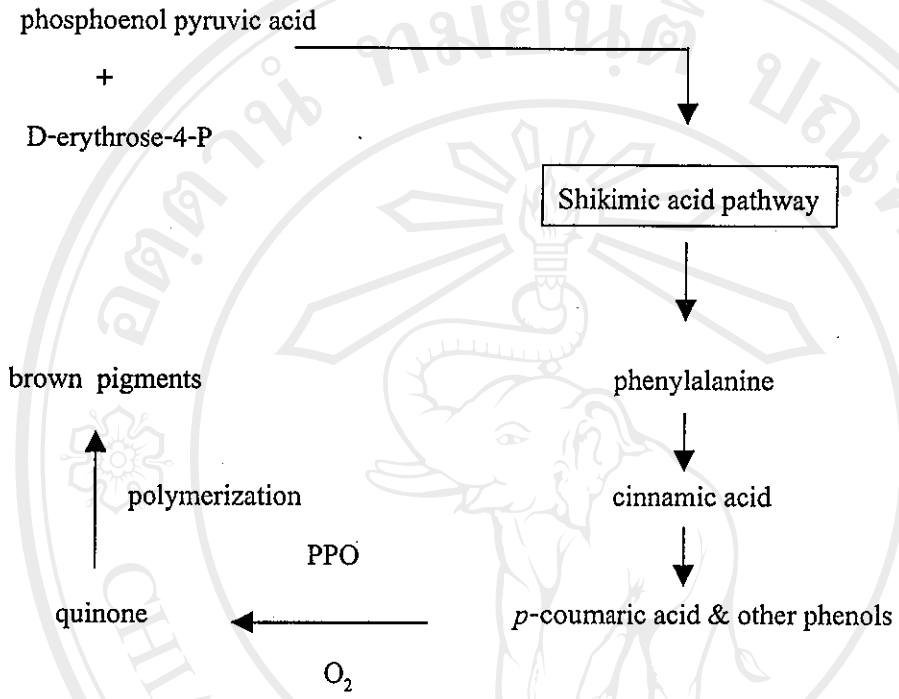
2. สารตั้งต้น

ในธรรมชาติโดยทั่วไปในพืชสารตั้งต้นสำหรับเอนไซม์ PPO (o-diphenol oxidase) ได้แก่ chlorogenic acid, catechin และ epicatechin ในผลไม้บางชนิด เช่น กล้วยมีสารตั้งต้นชนิดอื่นๆ เช่น 3,4-dihydroxyphenylalanine หรือ DOPA ส่วนในผลองุ่น เช่น *p*-coumaryl และ caffeoyl-tartaric (caftaric) acids (Lee and Whitaker, 1995) และในผลลิ้นจี่ เช่น pyrogallol, catechol และ 4-methylcatechol (Jiang *et al.*, 1997) สำหรับสารตั้งต้นที่จำเพาะเจาะจงต่อเอนไซม์ PPO ที่ทำปฏิกิริยาด้วยที่เปลือกของผลลำไยพันธุ์ Shixia คือ pyrogallol, 4-methylcatechol และ catechol (Jiang, 1999)

สารประกอบฟีนอล เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันออกไป ปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลที่ทราบโครงสร้างแน่นอนแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น แทนนิน (วิวัฒน์, 2545) สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น กรดซินนามิก กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจินิก กรดแกลิก แทนนิน และแอนโทไซยานิน เป็นต้น มีขั้นตอนการสังเคราะห์โดยผ่าน Shikimic acid pathway จากการรวมตัวของโมเลกุล phosphoenol pyruvate ซึ่งได้จากกระบวนการ glycoysis ร่วมกับ erythrose-4-phosphate จาก Calvin cycle หรือ Pentose phosphate pathway ซึ่งนำไปสู่การสังเคราะห์กรดอะมิโนที่สำคัญ ได้แก่ ฟีนิลอะลานีน ไทโรซิน และทริพโตเฟน โดยมีฟีนิลอะลานีนเป็นสารตั้งต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลอื่นๆ และมีเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia-lyase; PAL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก โดยการดึงเอาหมู่อะมิโนออกจากฟีนิล-อะลานีน เพื่อสร้างเป็นกรดซินนามิก (จริงแท้, 2541) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2541)

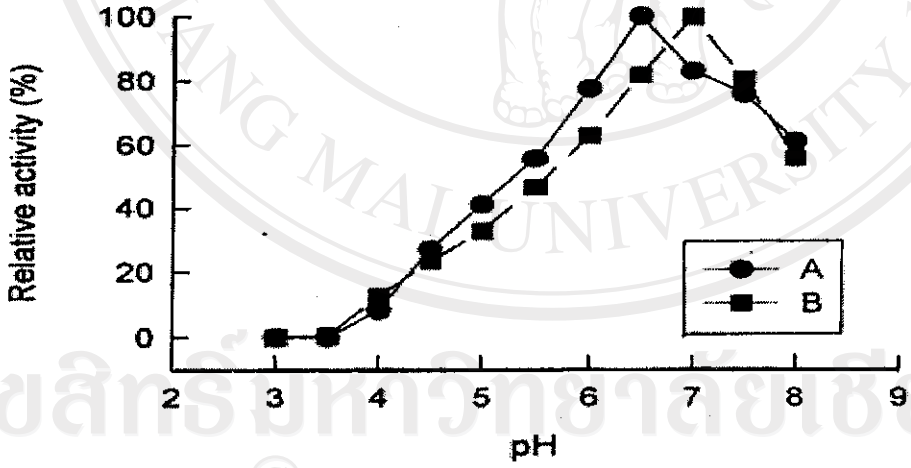
3. พีเอช

ค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของเอนไซม์ ค่าพีเอชที่ต่ำหรือสูงเกินไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ เพราะค่าพีเอชจะมีผลโดยตรงต่อโครงรูปโมเลกุล (conformation) ของเอนไซม์นั่นเอง เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีค่าพีเอชที่ทำงานได้ดีที่สุด ค่าพีเอชนี้เรียกว่า พีเอชที่เหมาะสม (ปราณี, 2535) ความแตกต่างของพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสารตั้งต้นแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและวิธีการสกัด เช่น เอนไซม์ PPO ในเปลือกของผลลำไยพันธุ์ Shixia สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ในช่วงพีเอช 4.0-7.0 มีพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO อยู่ที่พีเอช 6.5 โดยมี 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น เอนไซม์ PPO ในเปลือกของผลลำไยมีความคงตัวที่พีเอช 7.0 (Jiang, 1999) (ภาพที่ 5) ส่วนเอนไซม์ PPO ในผลลิ้นจี่พันธุ์ Mauritius มีพีเอชที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอช 7.0 โดยมี 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้นเช่นกัน และเอนไซม์ PPO มีความคงตัวที่พีเอช 7.4 (Jiang *et al* , 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

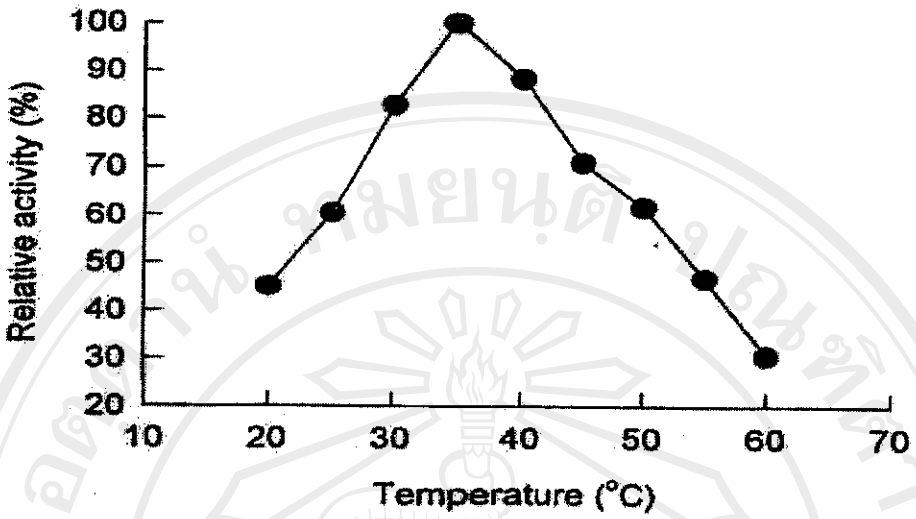
4. อุณหภูมิ

โดยปกติอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับในกรณีของเอนไซม์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่ได้ทำให้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นเสมอไป เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง เรียกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมเอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สุด หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นต่อไปอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลง เนื่องจากเอนไซม์ถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติมีโครงรูปโมเลกุลเปลี่ยนไป จึงทำให้เอนไซม์สามารถทำงานหรือมีกิจกรรมน้อยลงจนไม่มีในที่สุด โดยเอนไซม์แต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานแตกต่างกัน (ปราณี, 2535) เช่น เอนไซม์ PPO ในเปลือกของผลลำไยพันธุ์ Shixia มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานและมีความคงตัวที่ 35 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที สามารถทำให้เอนไซม์ PPO สูญเสียกิจกรรมลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (Jiang, 1999) (ภาพที่ 6) ส่วนเอนไซม์ PPO ในผลลิ้นจี่พันธุ์ Mauritius มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานและมีความคงตัวที่ 70 องศาเซลเซียส และสูญเสียกิจกรรม 50 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 8.6 นาที และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 7.6 นาที (Jiang *et al* , 1997)



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความจำเพาะของ (A) ค่าพีเอชที่เหมาะสมและ (B) ความคงที่ของเอนไซม์ PPO ของผลลำไย (Jiang, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 6 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO ของผลลำไย (Jiang, 1999)

การลดความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว

การลดความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวเป็นการเพิ่มความต้านทานของเนื้อเยื่อพืชต่ออุณหภูมิต่ำก่อนการเก็บรักษา จะช่วยชะลอหรือลดการพัฒนาอาการสะท้านหนาวของพืชได้ภายหลังได้รับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งการลดอาการสะท้านหนาวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้อุณหภูมิสูง (heat treatment) ก่อนการเก็บรักษา การลดอุณหภูมิลำดับขั้น (step-wise temperature conditioning) การได้รับอุณหภูมิสูงสลับการได้รับอุณหภูมิต่ำ (intermittent warming) การใช้สารเคมี (chemicals) การควบคุมบรรยากาศ (controlled atmospheres) และการใช้ฮอร์โมนพืช (plant growth regulators) (ดนัย, 2540 ; Wang, 1993)

1. การใช้อุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษา

การใช้อุณหภูมิสูงไม่ว่าจะเป็นอากาศร้อน ไอน้ำ หรือน้ำร้อน ก่อนการเก็บรักษาผลิตผลจะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวของผักและผลไม้บางชนิดได้ โดยการให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ก่อนการเก็บรักษา (Lafuente *et al.*, 1991) เช่น ผลมะเขือเทศที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 36-40 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน แล้วย้ายไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะไม่แสดงอาการสะท้านหนาว และมีการสุกตามปกติ (Lurie and Klein, 1991) ผลมะเขือเทศที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ก่อนการเก็บรักษาแสดงอาการสะท้านหนาวลดลง ผลมะเขือเทศที่ได้รับความร้อนมี heat shock protein (hsp) เกิดขึ้น ทำให้สามารถทนต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาการสะท้านหนาวได้ (Lurie *et al.*, 1993) ซึ่ง Sabehat *et al.*, (1995) รายงานว่าเมื่อปริมาณของ hsp เพิ่มขึ้นเนื้อเยื่อของผลมะเขือเทศจะทนต่ออาการสะท้านหนาวมากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าในผลมะเขือเทศพันธุ์ Mountain Springs ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 36 หรือ 48 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ ทนต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ดีกว่าผลมะเขือเทศที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน (Vlachonasios *et al.*, 2001)

Sanxter *et al.*, (1994) รายงานว่า การเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ Sharwil ที่อุณหภูมิ 37-38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17-18 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1.1 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ เช่นเดียวกับ Nishijima *et al.*, (1995) รายงานว่าการเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ Sharwil ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 8-12 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2.2 องศาเซลเซียส ช่วยลดอาการสะท้านหนาวของผลอะโวกาโดได้ และ Woolf *et al.*, (1995) รายงานว่าการใช้อากาศร้อนกับผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 3, 6 และ 10 ชั่วโมง หรือที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 40 นาที ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถลดความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวได้ เพราะอุณหภูมิสูงกระตุ้นให้เกิดการสร้าง hsp ซึ่งปริมาณโปรตีนนี้เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการลดความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวซึ่งเกิดที่ผิวภายนอกได้ นอกจากนี้ Florissen *et al.*, (1996) ยังรายงานว่าการเก็บรักษาผลอะโวกาโดพันธุ์ Hass ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 6-12 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ช่วยป้องกันอาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน

การเก็บรักษาผลส้มพันธุ์ Valencia โดยการจุ่มในน้ำร้อนร่วมกับการใช้สารเคมีฆ่าเชื้อราสามารถลดอาการสะท้านหนาวได้เมื่อเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นาน 15 สัปดาห์ (Wild and Hood, 1989) และการนำผลไม้ตระกูลส้มหลายชนิดมาจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส นาน 2-3 นาที ก่อนการเก็บรักษา สามารถลดความไวของผลเกรฟฟรุตและมะนาวต่ออาการสะท้านหนาวได้ ซึ่งการจุ่มในน้ำร้อนมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 34-40 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง (Rovod *et al.*, 1995)

การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Keitt ไว้ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ นาน 24 และ 48 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าผลมะม่วงที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ก่อนการเก็บรักษาเกิดความเสียหายจากอาการสะท้านหนาวลดลง (McCollum *et al.*, 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ซึ่งได้รับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส นาน 24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือ 48 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 20 วัน แสดงอาการสะท้านหนาวลดลง (ธเนศวร์และคนัย, 2541)

การเก็บรักษาผลละมุด (*Archras sapota* Linn.) พันธุ์มะกอก ไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ก่อนการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการพัฒนา และการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ โดยทำให้อัตราการหายใจ การผลิตเอทธิลีน กิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase และการรั่วไหลของประจุลดลง (อนันต์และคณะ, 2545)

2. การลดอุณหภูมิลำดับขั้น

การลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำ สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลิตผลได้ โดยในระหว่างการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆนั้น ภายในเซลล์ของผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มต่างๆ เช่น มีการสร้างฟอสโฟลิพิดซึ่งมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากขึ้น ซึ่งเมื่ออุณหภูมิต่ำลงเยื่อหุ้มต่างๆ ภายในเซลล์ของผลิตผลยังคงรักษาลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) อยู่ได้ ทำให้เยื่อหุ้มสามารถทำหน้าที่ในการควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารได้ มีผลทำให้ต้านทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2544) เช่น การเก็บรักษาผลสาลี่ (Duck pear) โดยวิธีการลดอุณหภูมิลำดับขั้น โดยเริ่มเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-12 องศาเซลเซียส นาน 10-15 วัน จากนั้นลดอุณหภูมิลง 1 องศาเซลเซียส ทุกๆ 3 วัน จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดการพัฒนาอาการไส้ดำ ซึ่งเป็นอาการผิดปกติที่เกิดจากความเย็นระหว่างการเก็บรักษาของผลสาลี่ได้ (Wang and Zhu, 1981)

3. การได้รับอุณหภูมิสูงสลับการได้รับอุณหภูมิต่ำ

การให้พืชได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลาสั้นๆ 1 ครั้ง หรือมากกว่าจะช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา และเพิ่มความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ ซึ่งพบในผลิตผลหลายชนิด เช่น ผลส้มพันธุ์ Olinda สามารถเก็บรักษาได้นาน 25 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์ สลับกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ และสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ แต่ถ้าเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เพียงอุณหภูมิเดียวจะเกิดอาการสะท้านหนาว (Schirra and Cohen, 1999) นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งพบได้ในผลท้อ แตงกวา และพริกหวาน ในระหว่างการได้รับอุณหภูมิสูง กรดไขมันชนิดอิ่มตัวบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และมีผลทำให้ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวได้ (คนัย, 2540) ส่วนการเก็บรักษาผลท้อไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สลับกับอุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทุก 4 สัปดาห์ ผลท้อจะไม่แสดงอาการสะท้านหนาว ถ้าเก็บรักษาที่ 0 องศาเซลเซียส ตลอดเป็นเวลานาน 9 สัปดาห์ ผลท้อจะแสดงอาการสะท้านหนาว ซึ่งในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการสะสมแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นด้วย แต่เมื่อย้ายไปที่อุณหภูมิสูงกว่าแอลกอฮอล์สามารถสลายไปได้ (จริงแท้, 2544)

4. การใช้สารเคมี

สารเคมีหลายชนิดชะลอหรือลดอาการสะท้านหนาวได้ เช่น calcium chloride, sodium benzoate, imazalil, mineral oil หรือ vegetable oil, antioxidants และ free radical scavengers (Wang, 1994; Wang, 2001) Chaplin and Scott (1980) ใช้ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0-7.5 เปอร์เซ็นต์ แทรกซึมเข้าไปในผลอะโวกาโดก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าสามารถลดอาการท่อน้ำ ท่ออาหารเปลี่ยนเป็นสีคล้ำได้ และการจุ่มหรือการแทรกซึมของแคลเซียมคลอไรด์ สามารถลดความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำในผลแอปเปิล (Bangerth *et al*, 1972; Scott and Willes, 1975) และผลท้อ (Wade,1981) ได้ นอกจากนี้การเคลือบผิวผลเกรฟฟรุตด้วยน้ำมันพืช หรืออีมัลชันของน้ำมันพืชและน้ำ ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ช่วยชะลอและลดอาการสะท้านหนาวได้ เช่นกัน (Aljuburi and Huff, 1984)

5. การควบคุมบรรยากาศ

การเก็บรักษาแบบการควบคุมบรรยากาศมีทั้งประโยชน์และโทษต่ออาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผล ผลิตผลที่มีความไวหรืออ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว เมื่อนำมาเก็บรักษาในสภาพการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศโดยมีก๊าซออกซิเจนต่ำลงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นแสดงอาการสะท้านหนาวลดลง เช่น การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการลดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ช่วยลดอาการ pitting ในซุกินี (Mencarelli *et al.*, 1983; Mencarelli, 1987; Wang and Ji, 1989) การเก็บรักษาผลมะละกอในสภาพที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ (1.5-5.0 เปอร์เซ็นต์) และความเข้มข้นของก๊าซ-คาร์บอนไดออกไซด์สูง (2 เปอร์เซ็นต์ หรือ 10 เปอร์เซ็นต์) ช่วยชะลอการสุกของผลมะละกอได้ (Chen and Paull, 1986) นอกจากนี้สภาพที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสามารถชะลอการพัฒนาและลดความไวต่ออาการสะท้านหนาว ลด internal breakdown และการเกิดโรคของผลท้อพันธุ์ Fairtime เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Ke *et al.*, 1991) แต่ในผลิตผลบางชนิดการเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวรุนแรงขึ้น เช่น แตงกวา มะนาว และพริกหวาน (Wang, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. การใช้ฮอร์โมนพืช

ฮอร์โมนพืชบางชนิดช่วยชะลอ หรือลดอาการสะท้านหนาวของผลิตผลได้ เช่น abscisic acid, triazoles, ethylene, polyamines, และ methyl jasmonate (Wang, 1993; Wang, 2001) ผลการศึกษาพบว่าผลมะม่วงมีความไวหรืออ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส โดยผลมะม่วงมีการพัฒนาอาการ pitting, การเปลี่ยนแปลงสีผิว และอ่อนแอต่อการเกิดโรค ซึ่งเป็นการเพิ่มความสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงนำ methyl jasmonate มาใช้กับผลมะม่วงเพื่อทำให้มีความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาว เช่น ผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่ได้รับการรมด้วยไอของ methyl jasmonate ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่แสดงอาการสะท้านหนาวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้นาน 5 วัน และผลมะม่วงสามารถสุกได้ตามปกติ (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved