บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

มะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้เขตร้อนที่มีความสำคัญ รู้จักกันแพร่หลายมากว่า 4,000 ปี มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย แล้วกระจายไปยังประเทศในเขตร้อนและเขตอบอุ่นของโลก ในทางพฤกษศาสตร์จัดมะม่วงอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae ในประเทศไทยมีมะม่วง 15 ชนิด (species) ชนิดที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ มะม่วงบ้าน (*Mangifera indica* L.) เพราะเป็นมะม่วงที่ปลูกเพื่อการค้า (วิจิตร วังใน,2533)

พันธุ์ของมะม่วงที่ปลูกกันในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามถิ่นกำเนิด คือ มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตอนเหนือของประเทศอินเดีย ปลูกมากในสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก เปลือกจะมีสีแดง สีม่วง หรือสีส้ม มีกลิ่นฉุนได้แรง อีกกลุ่มหนึ่ง คือ มะม่วงกลุ่มอินโดจีน (Indo-Chinese type) มีถิ่นกำเนิดแถบอินโดจีน และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เปลือกมีสีเขียวหรือสีเหลือง มีกลิ่นไม่แรง (วิจิตร วังใน,2533)

มะม่วงในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์จะมีต้น ทรงพุ่ม ใบ ผล และรสชาติที่แตกต่างกันออกไป มะม่วงที่นิยมรับประทานในปัจจุบันนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของผล ดังนี้ (ถวิล ช่ายสุวรรณ,2525; ภูวนาถ นนทรีย์,2532; วิจิตร วังใน,2533)

1. มะม่วงรับประทานดิบหรือมะม่วงมัน มะม่วงประเภทนี้มี 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะมีรสหวานเมื่อตอนแก่จัดแต่ยังไม่สุก เช่น เขียวเสวย แรด ทองดำ พิมเสนมัน อีกกลุ่มหนึ่งมีรสมัน ไม่เปรี้ยวตั้งแต่ผลยังเล็ก เช่น สายฝน ฟ้าลั่น หนองแซง โดยทั่วไปมะม่วงรับประทานดิบทุกชนิดจะเก็บไว้ในลักษณะมะม่วงรับประทานดิบได้ไม่กี่วันก็จะเริ่มสุก ซึ่งโดยมากรสจะไม่หวาน ไม่อร่อย จึงไม่นิยมรับประทานสุก ยกเว้นบางพันธุ์ใช้รับประทานสุกได้ดี เช่น ทองดำ แรด เขียวเสวย

2. มะม่วงรับประทานสุก มะม่วงประเภทนี้เมื่อดิบมีรสเปรี้ยวมาก เมื่อสุกจะมีรสหวาน ดังนั้นจึงนิยมเก็บจากต้นเมื่อแก่เต็มที่ แล้วบ่มให้สุกก่อนรับประทาน เช่น อกร่อง หนังกลางวัน น้ำดอกไม้ โชคอนันต์

3. มะม่วงที่ใช้แปรรูป เป็นมะม่วงที่มีผลดกมาก เมื่อแก่จัดมีรสเปรี้ยว เมื่อสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยวหรือจืดชืด ผลดิบใช้ทำมะม่วงดากแห้งหรือมะม่วงดอง ผลสุกใช้ทำมะม่วงกวน มะม่วงแผ่น สำหรับพันธุ์มะม่วงที่ปัจจุบันใช้แปรรูปอย่างแพร่หลาย คือ มะม่วงแก้ว มะม่วงสามปี

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้มะม่วงน้ำดอกไม้ เพราะเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมาก เป็นที่นิยมบริโภค และมีการส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศมาก (ภูวนาถ นนทรีย์,2532) และอีกพันธุ์หนึ่ง คือ มะม่วงโชคอนันต์ เพราะเป็นมะม่วงที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่น รสชาติดี เมื่อผลสุกแล้วสามารถเก็บไว้ได้นาน มะม่วงทั้ง 2 พันธุ์นี้สามารถออกผลทะวายได้ (วิจิตร วังใน,2533)

มะม่วงน้ำดอกไม้ (ภูวนาถ นนทรีย์,2532)

เป็นมะม่วงประเภทรับประทานสุกที่นิยมปลูกกันมาก ออกดอกดกแต่ติดผลปานกลาง ให้ผลทุกปี และสามารถออกผลทะวายได้ ลักษณะของผลอ้วนจนเกือบกลม หัวใหญ่ ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เมื่อดิบมีผิวสีเขียวนวล เนื้อมีสีขาว มีรสเปรี้ยว เมื่อสุกผิวมีสีเหลือง เนื้อมีสีเหลือง มีกลิ่นหอม ลักษณะของเนื้อละเอียด เมล็ดเล็ก เปลือกบางจึงช้ำได้ง่าย และมักจะเป็นโรคแอนแทรกโนส

มะม่วงโชคอนันต์ (วิจิตร วังใน,2533)

เป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่ที่ได้รับความสนใจมาก เนื่องจากออกดอกและติดผลได้ตลอดทั้งปี สามารถทำให้ออกผลทะวายได้ง่ายกว่าพันธุ์อื่น ๆ ลักษณะของผลมีรูปร่างคล้ายมะม่วงพิมเสนมัน เมื่อดิบผิวมีสีเขียวอ่อน เมื่อสุกผิวมีสีเหลือง เนื้อมีสีเหลือง แน่น ละเอียด มีกลิ่นคล้ายมะม่วงสามปี เปลือกหนา เมื่อผลสุกแล้วสามารถเก็บไว้ได้นาน 5-7 วัน โดยที่เนื้อยังไม่เละ

คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วง (กองโภชนาการ,2530)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง คือ เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต วิตามินเอ วิตามินซี คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงสุกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีดังนี้

พลังงาน	86.2	กิโลแคลอรี	ฟอสฟอรัส	15	มิลลิกรัม
ความชื้น	82.6	%	เหล็ก	0.03	มิลลิกรัม
ไขมัน	0.3	กรัม	วิตามินเอ	3133	I.U.
คาร์โบไฮเดรต	15.9	กรัม	วิตามินบี 1	0.06	มิลลิกรัม

เส้นใย	0.5	กรัม	วิตามินบี 2	0.05	มิลลิกรัม
โปรตีน	0.6	กรัม	ไนอะซิน	0.6	มิลลิกรัม
แคลเซียม	10	มิลลิกรัม	วิตามินซี	36	มิลลิกรัม

ดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วง

มะม่วงต้องเก็บเกี่ยวในระยะที่มีความแก่เหมาะสม เพราะความแก่ของมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของมะม่วง มะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ยังไม่แก่จัดเมื่อสุกจะมีรสเปรี้ยว กลิ่นจะไม่หอม ผลเหี่ยวมากเนื่องจากสูญเสียน้ำหนักมาก บ่มสุกช้า มะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่มีความแก่เหมาะสม เมื่อสุกจะมีรสหวาน มีกลิ่นหอม ผลไม่เหี่ยว ส่วนมะม่วงที่เก็บในระยะที่แก่จัดมากเกินไป หรือที่เรียกว่า สุกปากตะกร้อ เมื่อสุกจะมีคุณภาพไม่ดี คือ เนื้อนิ่มมากและเนื้อบริเวณใกล้เมล็ดจะช้ำ อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของมะม่วงแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น แหล่งปลูก ฤดูกาลที่มะม่วงออกดอกและติดผลจนกระทั่งผลโต การให้ปุ๋ย ความชื้นในดิน การตัดแต่ง การใช้สารเคมีฉีดพ่น ตำแหน่งของผลในทรงพุ่ม (สายชล เกตุษา,2533) มะม่วงแต่ละพันธุ์มีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ดังนั้นดัชนีการเก็บเกี่ยวบางวิธีจึงใช้ได้กับมะม่วงบางพันธุ์เท่านั้น ดัชนีที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวมะม่วงมีดังนี้

1. การดูลักษณะภายนอกของผล

การดูลักษณะภายนอกของผล ได้แก่ การดูนวล มะม่วงเกือบทุกพันธุ์เมื่อแก่จัดนวลหรือไขที่ผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะมะม่วงที่มีผิวสีเขียวเข้ม เช่น เขียวเสวย ทองดำ จะมีนวลสีขาวหนาเห็นได้ชัดเจน แต่ควรดูขนาดของผลประกอบด้วย มะม่วงที่แก่ผลจะเต่ง หัวอูม ส่วนของไหล่ผลจะสูงกว่าขั้วผล การดูสีของผิวอาจใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะม่วงบางพันธุ์ เช่น พันธุ์ Alphonso จะเก็บเกี่ยวเมื่อผิวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือการดูน้ำยางที่ซึมออกเมื่อเด็ดขั้ว ถ้าผลแก่น้ำยางนั้นจะซึมออกมาหนาและแห้งอย่างรวดเร็ว (วิจิตร วังใน,2529) ส่วนการดูปริมาณจุดสีดำ (lenticel) จะใช้กับมะม่วงบางพันธุ์ เช่น เขียวเสวย ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปริมาณการเกิดจุดสีดำบนผิวจะเพิ่มขึ้นตามความแก่ของมะม่วง (สณฑรรศน์ นันทะไชย,2532)

2. การนับอายุผล

การนับอายุผลเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อหาความแก่ที่เหมาะสมของมะม่วง การนับอายุผลอาจนับตั้งแต่วันที่ช่อดอกเริ่มบาน หรือบานเต็มที่ หรือตั้งแต่ผลขนาดเล็กเท่าหัวไม้ขีดหรือเมล็ดถั่วเขียว จนกระทั่งถึงวันที่เก็บเกี่ยวได้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของมะม่วงบางพันธุ์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (สณฑรรศน์ นันทะไชย,2532)

ตารางที่ 2.1 อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของมะม่วงบางพันธุ์

พันธุ์	อายุการเก็บเกี่ยว โดยประมาณ (วัน)	ตั้งแต่
เขียวเสวย	105	ออกดอก
	96-111	ดอกบาน
	91	หลังช่อดอกติดผล 50 %
สายฝน	100	ออกดอก
พิมเสนมัน พิมเสนแดง พิมเสนขาว	95	ออกดอก
ทองดำ	105	ดอกเริ่มบาน
	95-102	ดอกบานเต็มที่
แรด	77	หลังช่อดอกติดผล 50 %
ฟ้าลั่น	70	หลังช่อดอกติดผล 50 %
ลิ้นงูเห่า	115	ออกดอก
น้ำดอกไม้	115	ออกดอก
	96-110	ดอกบานเต็มที่
	93	ติดผล
หนังกลางวัน	110-115	ดอกบานเต็มที่

3 ความถ่วงจำเพาะ

เมื่อผลมะม่วงมีอายุมากขึ้น การเพิ่มของน้ำหนักผลจะมากกว่าการเพิ่มขนาดหรือปริมาตรของผล ทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่ามากขึ้น ในทางปฏิบัติไม่ต้องคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงแต่จะสังเกตลักษณะการจมและการลอยของผลมะม่วงในน้ำ ผลมะม่วงที่มีอายุต่างกันจะมีลักษณะการจมและการลอยในน้ำไม่เหมือนกันเพราะมีความถ่วงจำเพาะต่างกัน ผลมะม่วงที่แก่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าผลอ่อน ดังนั้น ผลมะม่วงที่อ่อนจะลอยน้ำและผลมะม่วงที่แก่จะจมน้ำ อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะไม่สามารถใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะม่วงได้ทุกพันธุ์ วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะกับมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 ผลมะม่วงบางพันธุ์เมื่อแก่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 เพราะมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก (endocarp) หรือที่เรียกว่า seed cavity มาก จึงต้องใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยววิธีอื่น ผลมะม่วงบางพันธุ์พอเริ่มแก่ก็จะจมน้ำ ดังนั้นอาจจะได้ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้วมีความแก่ไม่เหมาะสม

เมื่อสุกจะมีรสค่อนข้างเปรี้ยว จึงนำผลมะม่วงมาลอยในน้ำเกลือ 2.5 % ถ้าผลมะม่วงจม แสดงว่ามีความแก่เหมาะที่จะเก็บเกี่ยวได้ ความถ่วงจำเพาะของมะม่วงบางพันธุ์แสดงดังในตารางที่ 2.2 (สายชล เกตุษา,2533)

ตารางที่ 2.2 ความถ่วงจำเพาะ การจมน้ำ และช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกของมะม่วงบางพันธุ์

พันธุ์	ความถ่วงจำเพาะ	การจมน้ำ	ช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก
มะลิลา	0.98	ลอย	มาก
ทองดำ	1.01	จม	น้อย
ลิ้นงูเห่า	1.03	ลอย	น้อย
เขียวเสวย	0.97	ลอย	มาก
แรด	0.99	ลอย	มาก
พิมเสนมัน	1.00	ลอย	มาก
หนองแซง	0.99	ลอย	มาก
มันแห้ว	1.04	จม	น้อย
น้ำดอกไม้	1.03	จม	น้อย
หนังกลางวัน	1.03	จม	น้อย

Subramanyam,Gouri และ Krishnamurthy (1976) ศึกษาระดับความแก่ที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์ Alphonso โดยใช้ความถ่วงจำเพาะเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว ซึ่งแบ่งมะม่วงออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นมะม่วงที่ลอยน้ำ หรือมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 กลุ่มที่สองเป็นมะม่วงที่จมน้ำแต่ลอยในน้ำเกลือ 3 % หรือมีความถ่วงจำเพาะ 1.00-1.02 กลุ่มที่สามเป็นมะม่วงที่จมในน้ำเกลือ 3 % หรือมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.02 แล้วนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้อง พบว่า มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.00-1.02 เป็นมะม่วงที่มีความแก่เหมาะสม เมื่อสุกมีคุณภาพดีที่สุด มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 เป็นมะม่วงที่อ่อน มี pH ต่ำ และมีปริมาณน้ำตาลน้อย เมื่อสุกจะมีรสเปรี้ยว ส่วนมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.02 จะแก่เกินไป

4. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด

ผลมะม่วงเมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลมะม่วงที่มีอายุมากจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดจะลดลง ดวงตรา กสานติกุล,สายชล เกตุษา และสุรพงษ์ โกสิยะจินดา (2527) ได้ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้จะมีคุณภาพสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่มีอายุ 96-111 วัน หลังจากติดผล ซึ่งมีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด 6.01-10.10 และเมื่อสุกจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรดมากกว่า 16 ส่วนผลมะม่วงหนังกลางวันที่มีอายุ 109-118 วัน เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยว โดยจะมีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรดอยู่ในช่วง 137.25-162.54 (อารี ใจเพชร,2530)

5. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ

ผลมะม่วงเมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของดวงตรา กสานติกุล และคณะ (2527) พบว่า ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีอายุ 84 - 90 วัน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 10-10.50 % และเมื่อสุกจะเพิ่มขึ้นเป็น 19 % ส่วนผลมะม่วงที่มีอายุ 93-111 วัน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 10.50-12 % และเมื่อสุกจะเพิ่มขึ้นเป็น 20-21 % สณฑรรศน์ นันทะไชย (2532) รายงานว่า มะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อผลมีอายุได้ 112 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 16 องศาบริกซ์ และเมื่อบ่มให้สุกจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 22.1 องศาบริกซ์

นอกจากนี้ยังมีดัชนีการเก็บเกี่ยวอื่น ๆ เช่น การใช้หน่วยความร้อน (heat unit) ผลมะม่วงแต่ละพันธุ์ต้องการหน่วยความร้อนสำหรับการเจริญจนกระทั่งเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน หรือการวัดความแน่นเนื้อ ผลมะม่วงที่มีอายุน้อยจะมีความแน่นเนื้อมาก และความแน่นเนื้อจะลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น (ดวงตรา กสานติกุล และคณะ,2527) หรือปริมาณแป้ง เช่น มะม่วงพันธุ์ Heden และ Zill ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณแป้ง 5 % (วิจิตร วังใน, 2529) อย่างไรก็ตามดัชนีการเก็บเกี่ยวผลไม้แต่ละวิธีมีข้อจำกัด การพิจารณาโดยใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยวหลายวิธีร่วมกันในการประเมินความแก่ของมะม่วงจะให้ผลดีที่สุด

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง (สายชล เกตุษา,2533)

1. การกำจัดยางมะม่วง

ยางมะม่วงเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งเพราะยางมะม่วงที่ไหลเปรอะเปื้อนอยู่บนผิวทำให้ผลมะม่วงไม่สะอาดและเหนียว ง่ายต่อการติดเศษใบไม้และขี้ฝุ่น ควรเก็บผลมะม่วงให้มีขั้วยาวประมาณ 1-2 นิ้ว เพื่อป้องกันการไหลของยาง จากนั้นจึงปลิดขั้วให้ชิดผลแล้วจึงคว่ำผลลง

บนผ้าเพื่อให้ยางมะม่วงไหลจนกระทั่งหยุดและแห้ง ระวังไม่ให้รอยขั้วสัมผัสกับดินเพราะอาจมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนทำให้เน่าเสียได้ นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นที่สามารถลดปัญหาเรื่องยางมะม่วง เช่น การเก็บมะม่วงให้มีก้านติดผล หรือการเก็บมะม่วงในช่วงสายจนกระทั่งถึงบ่าย เพราะช่วงเวลาดังกล่าวยางมะม่วงจะไหลออกมาน้อย

2. การทำความสะอาดผลมะม่วง

การทำความสะอาดผลมะม่วงเป็นการกำจัดสิ่งที่เปรอะเปื้อนรวมถึงยางมะม่วงที่ติดอยู่ตามผิวของผลมะม่วง อีกทั้งเป็นการกำจัดยาและสารเคมีเป็นพิษบางส่วนที่ติดอยู่ตามผิวของผลมะม่วง ควรล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง หรืออาจเติมยาฆ่าเชื้อโรคลงในน้ำด้วย เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 0.5-1.0 %

3. การควบคุมเชื้อโรคและกำจัดแมลงวันผลไม้

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมาเกิดการเน่าเสีย โดยเฉพาะราที่ทำให้เกิดโรคแอนแทรกโนส โรคขั้วเน่า การควบคุมโรคทำโดยการจุ่มมะม่วงในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที อาจผสมยาฆ่าเชื้อรา เช่น ไทอะเบนดาโซล หรือเบนโนมิล 0.05-0.10 % ส่วนการกำจัดแมลงวันผลไม้ทำได้โดยการอบไอน้ำจนกระทั่งเนื้อส่วนที่ติดกับเมล็ดมีอุณหภูมิ 46.5 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที หรือมากกว่านี้แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

4. การคัดขนาดผลมะม่วง

การคัดขนาดผลมะม่วงเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมออาจทำก่อนหรือหลังการทำความสะอาด ซึ่งจะช่วยลดปริมาณงานเพราะการคัดขนาดจะช่วยแยกผลที่มีขนาดเล็กเกินไป ผลที่มีตำหนิหรือผลที่ไม่สมบูรณ์ออกไป การแบ่งขนาดของผลมะม่วงบางพันธุ์โดยอาศัยน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งขนาดของผลมะม่วงบางพันธุ์โดยอาศัยน้ำหนัก

พันธุ์	ขนาด (กรัมต่อผล)		
	ใหญ่	กลาง	เล็ก
เขียวเสวย	310-370	251-309	200-250
น้ำดอกไม้	360-420	301-359	250-300
หนังกลางวัน	360-430	301-359	259-300
ทองดำ	270-320	231-269	200-230
แรด	260-310	231-269	200-230

5. การบ่มมะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก (climacteric) จึงเก็บเกี่ยวเมื่อแก่จัด แล้วนำมาบ่มให้สุก การบ่มมะม่วงมีจุดประสงค์เพื่อให้มะม่วงสุกเร็วและสุกพร้อมกัน ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและการเหี่ยวย่นของผล ทำให้สีของผิวมะม่วงมีความสม่ำเสมอ การบ่มมะม่วงอาจใช้ก๊าซเอทิลีน หรือแคลเซียมคาร์ไบด์ แคลเซียมคาร์ไบด์จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศให้ก๊าซอะเซทิลีน ทำให้ผลมะม่วงสุกได้เช่นเดียวกับก๊าซเอทิลีน การบ่มมะม่วงด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ ใช้ปริมาณแคลเซียมคาร์ไบด์ 10 กรัมต่อผลมะม่วง 1 กิโลกรัม

การสุกของผลไม้

การสุกของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ดังนี้

1. การเปลี่ยนสี

ระหว่างที่ผลไม้สุกผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากมีการสลายของคลอโรฟิลล์ ทำให้คาร์โรทีนอยด์ที่มีอยู่ปรากฏให้เห็นเด่นชัด ผลไม้หลายชนิดจะมีการสะสมคาร์โรทีนอยด์ขณะที่ผลมีอายุมากขึ้นหรือสุก (สายชล เกตุษา,2528) สำหรับมะม่วงเมื่อสุกจะมีสีเหลืองซึ่งเป็นสีที่เนื่องมาจากรงควัตถุคาร์โรทีนอยด์ คาร์โรทีนอยด์ในมะม่วงส่วนใหญ่จะเป็น β-carotene โดยมีอยู่ประมาณ 60 % (Hulme,1971 ; Subramanyam,Krishnamurthy และ Parpia,1975) ผลมะม่วงเมื่อสุกปริมาณ β-carotene จะเพิ่มขึ้น (John,Subbarayan, และ Cama,1973)

ดวงตรา กสานติกุล (2526) ศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่า ปริมาณ β-carotene ในเนื้อผลมะม่วงสุกจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลมีอายุมากขึ้น โดยผลมะม่วงที่มีอายุ 84 วัน หลังติดผล เมื่อสุกจะมีปริมาณ β-carotene 2,286 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และเพิ่มขึ้นจนมีปริมาณสูงสุด 4,770 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อผลมะม่วงมีอายุ 111 วัน

2. การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นลักษณะที่สำคัญของผลไม้ ผลไม้จะมีโมเลกุลของเพคตินช่วยในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเพคตินจะอยู่ในส่วนของ middle lamella และทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โมเลกุลของเพคตินเป็นสายโซ่ที่ประกอบด้วยหน่วยของ galacturonic acid ที่ต่อด้วย α-1,4-glycosidic linkage ซึ่งมีหมู่ carboxyl ที่ถูก esterify ในผลไม้ดิบซึ่งมีความแข็งกรอบเพคตินจะอยู่ในรูปซับซ้อนและไม่ละลายน้ำเรียกว่าโปรโตเพคติน เมื่อผลไม้เริ่มสุกโปรโตเพคตินจะถูกสลายเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้โดยเอนไซม์ protopectinase pectin methylesterase และ polygalacturonase ซึ่งมีกิจกรรมสูงในระหว่างที่ผลไม้สุก pectin methylesterase จะไปเร่งปฏิกิริยา deesterification ของเพคติน แยกกลุ่ม methoxy ออกจาก

โมเลกุล ทำให้ได้กรดเพคตินิก (pectinic acid) และเมทานอล ส่วน polygalacturonase จะตัดความยาวของโมเลกุลให้สั้นลง ในที่สุดเพคตินจะถูกย่อยสลายกลายเป็น α-D-galacturonic acid จนหมด ดังนั้นเมื่อผลไม้สุกโมเลกุลของเพคตินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้ผนังเซลล์ยึดติดกันอย่างหลวม ๆ ผลไม้สุกจึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้น (Eskin,Henderson และ Townsend,1971) จากการศึกษาการสุกของมะม่วง 7 พันธุ์ คือ Alphonso Banganapalli Dasheri Fazli Langra Suvarnarekha และ Totapuri พบว่า ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงระหว่างสุกจะลดลง ขณะเดียวกันเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนตัวของเนื้อมะม่วง คือ pectin methylesterase polygalacturonase และ cellulase จะมีกิจกรรมสูงขึ้น (Selvaraj และ Kumar ,1989)

3. การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

เมื่อผลไม้เริ่มสุกจะมีรสหวาน เพราะแป้งที่สะสมในระหว่างการเจริญเติบโตจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ซึ่งจะเกิดขึ้นในผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก น้ำตาลของผลไม้ขณะสุกส่วนมากอยู่ในรูปกลูโคสและฟรุกโทส เช่น พลับ มะเดื่อ กล้วย ละมุด แต่ผลไม้บางชนิดขณะสุกน้ำตาลอยู่ในรูปซูโครส เช่น มะม่วง (สายชล เกตุษา,2528) น้ำตาลในผลมะม่วงดิบส่วนใหญ่เป็นประเภท reducing sugar ขณะที่ในผลมะม่วงสุกส่วนใหญ่เป็นประเภท non-reducing sugar (Subramanyam และคณะ,1975) จากการศึกษาการสุกของมะม่วง 7 พันธุ์ คือ Alphonso Banganapalli Dasheri Fazli Langra Suvarnarekha และ Totapuri พบว่า เมื่อผลมะม่วงสุกปริมาณแป้งจะลดลง ขณะที่ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น (Selvaraj ,Kumar และ Pal,1989)

4. การเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์

โดยทั่วไปปริมาณกรดในผลไม้จะเพิ่มขึ้นจนมากที่สุดในระหว่างการเจริญเติบโตอยู่บนต้น เนื่องจากวัฏจักรเครบส์ (Krebs'cycle) เกิดขึ้นในเซลล์ของพืชชั้นสูง ดังนั้นในเนื้อเยื่อของผลไม้จึงพบกรดซิตริกและกรดมาลิกมาก กรดซิตริกพบมากใน ส้ม มะนาว ฝรั่ง สับปะรด ส่วนกรดมาลิกพบมากในแอปเปิล พลับ (สายชล เกตุษา,2528) กรดอินทรีย์ที่พบในมะม่วง เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก กรดออกซาลิก กรดไกลโคลิก แต่กรดอินทรีย์ที่มีปริมาณมากที่สุด คือ กรดซิตริก (Hulme,1971 ; Subramanyam และคณะ,1975) และเมื่อผลมะม่วงสุกปริมาณกรดซิตริกและกรดมาลิกจะลดลง (Selvaraj และคณะ,1989) เนื่องจากมีการใช้กรดบางส่วนเป็นสารตั้งต้นสำหรับการหายใจ (ดวงตรา กสานติกุล และคณะ,2527)

5. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส

การเกิดกลิ่นรสของผลไม้ระหว่างสุก เนื่องจากเกิดสารระเหย (volatiles) หลายชนิด เช่น เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ คีโตน เทอร์พีน สารระเหยเหล่านี้จะเกิดในช่วงไคลแมคเทอริก(climacteric stage) สารระเหยนี้มีอยู่ในปริมาณน้อยแต่ให้กลิ่นรสกับ

ผลไม้ (ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527) สำหรับสารให้กลิ่นรสในมะม่วงส่วนใหญ่เป็นพวก monoterpene hydrocarbon (Macleod,1985 ; Joseph,1992) เช่น myrcene ในมะม่วงพันธุ์ Alphonso Baladi limonene ในมะม่วงพันธุ์ Baladi (Mortan และ Macleod,1990)

คุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง

ผลไม้แช่เยือกแข็งเป็นที่ยอมรับว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับผลไม้สดมากที่สุด โดยมีลักษณะคุณภาพต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่เยือกแข็งขึ้นกับ อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะแช่เยือกแข็งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อผลไม้จะทำลายผนังเซลล์ middle lamella และ protoplast ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้หลังการละลายน้ำแข็งเสียไป การแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้าจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ของผลไม้มากกว่าการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วซึ่งจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายอยู่ภายในเซลล์ (Fennema Powrie และ Marth,1973)

เมื่อผลไม้สุกเพคตินจะเปลี่ยนไปเป็นกรดเพคตินิกซึ่งละลายน้ำได้ ทำให้ผลไม้นิ่ม หมู่ carboxyl ของกรดเพคตินิกสามารถจับกับแคลเซียมอิออนเป็นแคลเซียมเพคติเนต การเตรียมผลไม้โดยใช้เกลือแคลเซียมก่อนการแช่เยือกแข็ง ช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้หลังละลายน้ำแข็งแน่นขึ้น (Eskin และคณะ,1971 ; Fennema,1975)

2. สีและลักษณะปรากฏ

ผลไม้มีเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำให้เกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในผลไม้แช่เยือกแข็ง ปกติเอนไซม์ polyphenol oxidase ในผลไม้จะแยกจากสารประกอบฟีนอลิก เช่น catechin dopamine caffeic acid chlorogenic acid แต่เมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลาย เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก ทำให้เกิดสีน้ำตาล ซึ่งจะเห็นเด่นชัดที่บริเวณรอยตัดของผิวผลไม้ซึ่งสัมผัสกับออกซิเจนได้มาก อย่างไรก็ตามสีน้ำตาลยังเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อของผลไม้หลังการละลายน้ำแข็งด้วย โดยเฉพาะในผลไม้ที่มีช่องว่างภายในเนื้อเยื่อทำให้มีออกซิเจนอยู่มาก เช่น แอปเปิล (Finkle,1971)

ผลไม้แช่เยือกแข็งจะมีสีและลักษณะปรากฏที่ดีหากมีการแช่เยือกแข็งที่ดี นอกจากนี้พันธุ์ของผลไม้ก็มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล ผลไม้ที่มีเอนไซม์ polyphenol oxidase หรือสารประกอบฟีนอลิกน้อย จะเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าพันธุ์ที่มีเอนไซม์ polyphenol oxidase และสารประกอบฟีนอลิกมาก (Arsdel,Copley และ Olson,1969) โดยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมีดังนี้

phenols + O_2 → quinones → brown polymers

สารประกอบฟีนอลิกทั้งประเภท monophenols และ o-diphenols จะถูกออกซิไดส์โดยมีเอนไซม์ polyphenol oxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เกิด o-quinone ซึ่งเป็นสารที่ไวต่อปฏิกิริยามาก และจะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันต่อไปได้สารโมเลกุลใหญ่ที่มีสี (วรรณา ตุลยธัญ,2528) ถ้าปฏิกิริยาอยู่ในระยะ quinones จะสามารถย้อนกลับได้ โดย reducing agent เช่น กรดแอสคอร์บิก ชิ้นผลไม้ที่บรรจุอยู่ในน้ำเชื่อมที่มีกรดแอสคอร์บิก ก็ยังเกิดสีน้ำตาลได้ถ้ามีออกซิเจนอยู่ เพราะกรดแอสคอร์บิกจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกน้อยลงไปจนไม่เพียงพอสำหรับป้องกันการเกิดสีน้ำตาล การกำจัดออกซิเจนออกไปจะลดปฏิกิริยาออกซิเดชันและสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น (Arsdel และคณะ,1969)

3. กลิ่นรส

การแช่เยือกแข็งผลไม้สามารถรักษากลิ่นรสของผลไม้ได้ดีกว่าการบรรจุกระป๋องหรือการทำแห้ง การแช่เยือกแข็งผลไม้ไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ ในขณะที่ผลไม้กระป๋องและผลไม้อบแห้งจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่แตกต่างจากผลไม้สด การสูญเสียกลิ่นรสของผลไม้แช่เยือกแข็งและการเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมจะเกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษา อุณหภูมิในการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็งมีผลต่อกลิ่นรสของผลไม้ การเก็บผลไม้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สามารถรักษากลิ่นรสของผลไม้ไว้ได้นานกว่าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ออกซิเจนก็มีผลต่อกลิ่นรสของผลไม้แช่เยือกแข็ง ดังนั้น การบรรจุผลไม้แช่เยือกแข็งแบบสุญญากาศในภาชนะที่ป้องกันออกซิเจนได้ และการแช่เยือกแข็งผลไม้โดยบรรจุในน้ำเชื่อมจะช่วยรักษากลิ่นรสของผลไม้ (Finkle,1971)

4. คุณค่าทางโภชนาการ

การแช่เยือกแข็งผลไม้เป็นการลดอุณหภูมิของผลไม้ ซึ่งทำให้สารอาหารต่าง ๆ มีความคงตัวมากขึ้น แต่ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง จะต้องมีขั้นตอนต่าง ๆ ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแช่เยือกแข็ง เช่น การล้าง การตัดแต่ง ซึ่งจะสูญเสียสารอาหารมาก โดยเฉพาะการสูญเสียวิตามินเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้การสูญเสียสารอาหารจะเกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็ง และการละลายน้ำแข็ง (Desrosier,1970) การสูญเสียวิตามินซีจะเกิดขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อผลไม้ถูกทำลายและสัมผัสกับอากาศ การออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ pH ของผลิตภัณฑ์ กรดแอสคอร์บิกจะมีความคงตัวในอาหารที่มี pH ต่ำ และเมื่อเก็บอาหารไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การเก็บสตรอเบอรี่ซึ่งมี pH ต่ำไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สามารถรักษาวิตามินซีไว้ได้นานถึง 1 ปี หาก

เก็บไว้ที่ -12 องศาเซลเซียส นาน 180 วันจะสูญเสียวิตามินซีถึง 50 % ในขณะที่ผักใบเขียว ซึ่งมี pH สูงกว่า เมื่อเก็บไว้ที่ภาวะเดียวกันจะสูญเสียวิตามินซีมากกว่าสตรอเบอรี (Fennema และคณะ,1973)

β-carotene เป็นแหล่งสำคัญของวิตามินเอ โดย β-carotene 1 โมเลกุล เปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอได้ 2 โมเลกุล เนื่องจากโมเลกุลของ β-carotene มีหลายพันธะคู่ (conjugated double bond) และมีสมบัติไม่อิ่มตัว (unsaturated) การสูญเสีย β-carotene ในอาหารจึงเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการกระตุ้นของแสง ความร้อน เอนไซม์ lipoxygenase ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ β-carotene ทำให้เกิด 5,6-epoxide ซึ่งจะเกิด isomerization ต่อไปเป็น 5,8-epoxide หรือ mutachrome (Fennema,1976) นอกจากนี้การสูญเสีย β-carotene จะเกิดจาก cis-trans isomerization ปกติ β-carotene จะอยู่ในรูป trans ซึ่งไม่คงตัว ภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสง หรือภาวะที่เป็นกรด β-carotene จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป cis และที่อุณหภูมิสูง β-carotene จะแตกตัวเป็นอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน เช่น ionene (Fennema,1976 ; Richardson และ Finey,1985)

5. ลักษณะทางจุลชีววิทยา

โดยทั่วไปผิวของผลไม้จะมีจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก จุลินทรีย์ที่พบมีทั้งยีสต์ รา และแบคทีเรีย ยีสต์ที่ทำให้ผลไม้เน่าเสียเนื่องจากการหมัก เช่น *Saccharomyces Pichia Hansenula Torulopsis* ราที่ทำให้ผลไม้เน่าเสีย เช่น *Aspergillus Penicillium Rhizopus Mucor* ส่วนแบคทีเรียจะเป็นพวก *Bacillus subtilis Staphylococcus aureus* ผลไม้ที่สุกเต็มที่จะนิ่มและเละง่ายต่อการทำลายของจุลินทรีย์ ดังนั้นควรลดอุณหภูมิของผลไม้อย่างรวดเร็ว และในขั้นตอนการล้าง อาจเติมสารฆ่าจุลินทรีย์ในน้ำล้างได้ (Tressler, Van Arsdel และ Copley,1968)

จุลินทรีย์พวก mesophile และ psychrophile สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น อาจมีการปนเปื้อนลงในอาหารระหว่างการผลิตได้ แต่จุลินทรีย์พวก mesophile จะไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ขณะที่ psychrophile ยังสามารถเจริญได้ จุลินทรีย์พวก psychrophile จะสร้างเอนไซม์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร แบคทีเรียพวก psychrophile ได้แก่ *Pseudomonas Flavobacterium Alcaligenes Micrococus Lactobacillus* ส่วนราที่เป็น psychrophile ได้แก่ *Cladosporium Sporotrichum Penicillium* แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ เช่น *Clostridium botulinum* จะไม่สามารถทนอุณหภูมิต่ำ และไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 องศาเซลเซียส ดังนั้น การเน่าเสียของผลไม้แช่เยือกแข็ง ในช่วงอุณหภูมิ 3 ถึง -12 องศาเซลเซียส จะเกิดจากพวก psychrophile ซึ่งจะสร้างเอนไซม์ต่างๆ ที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Arsdel และคณะ,1969) การแช่เยือกแข็งจน

ถึงอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญ เนื่องจากอุณหภูมิลดต่ำลงจนไม่เหมาะสมต่อการเจริญ อุณหภูมิต่ำสุดที่แบคทีเรียสามารถเจริญได้อยู่ในช่วง -5 ถึง -10 องศาเซลเซียส สำหรับยีสต์อยู่ในช่วง -10 ถึง -12 องศาเซลเซียส และสำหรับราอยู่ในช่วง -15 ถึง -18 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงน้ำจะกลายเป็นน้ำแข็งมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ลดลง (Ciobanu และคณะ,1976) เมื่อปริมาณน้ำลดลง ความเข้มข้นของตัวถูกละลายภายในเซลล์ เช่น เกลือ โปรตีน กรดนิวคลีอิก เพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของสารภายในเซลล์ สาร electrolytes มีความเข้มข้นสูงขึ้น และโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ จุลินทรีย์จึงถูกทำลาย นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำลายเซลล์จุลินทรีย์ด้วย (Frazier และ Westhoff,1988)

การแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า ทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ จึงทำลายเซลล์จุลินทรีย์ได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วซึ่งเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก การแช่เยือกแข็งจะมีช่วงอุณหภูมิวิกฤติที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ คือ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่อุณหภูมิ -4 ถึง -10 องศาเซลเซียส ดังนั้น การแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว ทำให้จุลินทรีย์ผ่านช่วงอุณหภูมิวิกฤติไปอย่างรวดเร็ว จึงทำลายจุลินทรีย์น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า (Frazier และ Westhoff,1988) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ภาวะเยือกแข็ง ปริมาณจุลินทรีย์จะลดลงตลอดระยะเวลาเก็บ จุลินทรีย์บางชนิดจะตาย แต่บางชนิดสามารถทนภาวะเยือกแข็งได้นาน (Frazier และ Westhoff,1988) จากการศึกษาของ Gorgatti-Netto,Bleinroth และ Lazzarini (1973) พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในชิ้นมะม่วงสดมี 10^5-10^6 โคโลนีต่อกรัม เมื่อนำมาผลิตเป็นมะม่วงชิ้นแช่เยือกแข็ง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเวียส นาน 15 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะลดลงเหลือ 10^2-10^3 โคโลนีต่อกรัม

การแช่เยือกแข็งผลไม้

การแช่เยือกแข็งผลไม้สามารถรักษาคุณภาพของผลไม้ด้านสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าการบรรจุกระป๋องหรือทำแห้ง ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงผลไม้สด สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เน่าเสีย ลดอัตราเร็วของปฏิกิริยาเอนไซม์ และปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ อันเนื่องจากผลของการลดอุณหภูมิให้ต่ำร่วมกับการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ โดยเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็ง โดยทั่วไปเนื้อเยื่อของผลไม้มีน้ำตาลและกรดอยู่สูง จะมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส (ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527) สำหรับมะม่วงมีจุดเยือกแข็งเฉลี่ย -1.44 องศาเซลเซียส (Potter และ Hotchkiss,1995) นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งยังสามารถทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลงวันผลไม้ที่มีอยู่ในผลไม้ได้อีกด้วย (Woodroof และ Luh,1979 ;

ดารา พวงสุวรรณ,2531) การแช่เยือกแข็งผลไม้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่วัตถุดิบ การเตรียมผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็ง ภาชนะบรรจุและการเก็บรักษา และการละลายน้ำแข็ง แต่ละขั้นตอนนั้นต้องปฏิบัติอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เพราะขั้นตอนเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง

1. การเลือกวัตถุดิบ

ผลไม้สำหรับการแช่เยือกแข็งต้องมีคุณภาพดี ซึ่งจะต้องเก็บเกี่ยวในระยะที่มีความแก่เหมาะสม ผลไม้ประเภทนอนไคลแมคเทอริก เช่น เงาะ มังคุด ส้ม สับปะรด จะเก็บเกี่ยวเมื่อสุกเต็มที่แล้ว ส่วนผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก เช่น กล้วย ทุเรียน มะม่วง จะเก็บเกี่ยวในระยะที่แก่จัดแล้วนำมาบ่มให้สุก (จิรา ณ หนองคาย,2531) โดยทั่วไปผลไม้สำหรับการแช่เยือกแข็งจะเลือกผลไม้ที่มีระดับความสุกที่ใกล้เคียงกับการบริโภคสด(Woodroof และ Luh,1979)

2. การเตรียมผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง

หลังการเก็บเกี่ยวผลไม้จะต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็งดังนี้ (ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527)

2.1 การทำความสะอาด

เป็นการแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนกับวัตถุดิบออกไป เช่น ยาฆ่าแมลง สารพิษต่างๆ ดิน หิน กรวด การทำความสะอาดช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในผลไม้ได้ วิธีทำความสะอาดที่ดีต้องไม่ทำให้ผลไม้เกิดรอยช้ำและเสียหาย

2.2 การคัดขนาดและคัดเลือกคุณภาพ

การคัดขนาดทำให้ผลไม้มีความสม่ำเสมอ อาจใช้น้ำหนัก ความยาวของวัตถุดิบ เป็นเกณฑ์ ส่วนการคัดเลือกคุณภาพเป็นการคัดเอาผลไม้ที่ไม่เหมาะสมออกไป เช่น รูปร่างผิดปกติ มีตำหนิ มีบาดแผล โดยพิจารณาจากรูปร่าง สี ลักษณะเนื้อสัมผัส ตำหนิ องค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น

2.3 การปอกเปลือกและการตัดแต่ง

ผลไม้มักจะต้องปอกเปลือกก่อนการแปรรูป ซึ่งจะช่วยกำจัดดิน ยาฆ่าแมลง หรืออื่นๆ ที่อาจติดมากับเปลือกออกไป วิธีปอกเปลือกที่ดีต้องทำได้รวดเร็ว มีการสูญเสียน้อย อาจใช้เครื่องปอกเปลือก สารเคมี เช่น ด่าง หรือใช้ความร้อน ผลไม้ส่วนใหญ่จะตัดแต่งก่อนการแช่เยือกแข็งเพื่อให้เหมาะสมกับการรับประทาน

2.4 การป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ในผลไม้

ผลไม้ที่นำมาแช่เยือกแข็งจะต้องมีวิธีป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ ดังนั้น จำเป็นต้องควบคุมการทำงานของเอนไซม์ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการในด้านสี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะการสูญเสียวิตามินซี

ปัญหาที่สำคัญที่มักเกิดกับผลไม้ คือ การเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องจากเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งทำให้ผลไม้มีสีคล้ำขึ้น วิธีควบคุมการทำงานของเอนไซม์ในผลไม้ไม่นิยมการใช้ความร้อนเหมือนอย่างในผัก ทั้งนี้เพราะทำให้สูญเสียกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสจะนิ่มขึ้น และทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากเมื่อละลายน้ำแข็ง การใช้ความร้อนนิยมใช้กับผักเพราะผักส่วนใหญ่ต้องหุงต้มก่อนการบริโภค สำหรับในผลไม้นิยมใช้สารเคมีในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์ โดยสารเคมีจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นของเอนไซม์ หรือลดการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจน (Fennema,1975) สารเคมีที่นิยมใช้มีดังนี้

2.4.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลไฟต์ หรือกรดซัลฟุรัส ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ โดยจะไปลดปริมาณออกซิเจน และทำปฏิกิริยากับ o- quinone ได้สารที่ไม่มีสี ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของ o-quinone แล้วให้สารโมเลกุลใหญ่ที่มีสี (วรรณา ตุลยธัญ, 2528) นอกจากนี้ยังมีสมบัติฆ่าจุลินทรีย์ และช่วยรักษาวิตามินซี แต่มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอม ถ้าใช้ในปริมาณสูงจะทำให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลง และมีผลเสียต่อสุขภาพ (Eskin และคณะ.,1971)

2.4.2 กรด เป็นสารเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ โดยจะไปลด pH ทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ การเกิดสีน้ำตาลก็จะลดลง เอนไซม์ polyphenol oxidase จะทำงานได้ดีที่ pH 6-7 ถ้า pH ต่ำกว่า 3 เอนไซม์จะหยุดการทำงาน (Eskin และคณะ.,1971) กรดที่ใช้ ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก กรดอิริทอร์บิก กรดมาลิก เป็นต้น

(1) กรดซิตริก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยจะไปลด pH ทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ และเป็นตัวจับโลหะ (chelating agent) เช่น ทองแดง ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำให้การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ผลดียิ่งขึ้น (Eskin และคณะ,1971)

(2) กรดแอสคอร์บิก เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เพราะเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี สารฟีนอลิกในผลไม้จะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนไปเป็น o-quinone โดยมีเอนไซม์ polyphenol oxidase เป็นตัวเร่ง o-quinone เป็นสารที่ไวต่อปฏิกิริยามาก สามารถทำให้เกิดสารโมเลกุลใหญ่ที่มีสี กรดแอสคอร์บิกจะรีดิวซ์ o-quinone กลับไปเป็น o-diphenol ใหม่ ดังนั้นจึงยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (วรรณา ตุลยธัญ,2528) หากเติมกรดแอสคอร์บิกไม่เพียงพอ

การเกิดสีน้ำตาลเพียงแต่ถูกชลอไป จากนั้นก็เกิดขึ้นได้ตามปกติ จึงต้องใช้กรดแอสคอร์บิกในปริมาณที่มากเกินพอในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีราคาแพงและไม่คงตัว เพราะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย จึงใช้ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ ในการรักษาสีและเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่เยือกแข็ง เช่น ใช้ร่วมกับกรดซิตริก แคลเซียมคลอไรด์

Pointing,Jackson และ Watters (1972) ศึกษาผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกและแคลเซียมคลอไรด์ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลชิ้นแช่เยือกแข็ง โดยแปรความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก 0 0.5 และ 1.0% ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 0 0.05 และ 0.10 % พบว่า การแช่แอปเปิลชิ้นในสารละลายผสมของกรดแอสคอร์บิก 1.0 % และแคลเซียมคลอไรด์ 0.1 % จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด

(3) กรดอิริทอร์บิก

กรดอิริทอร์บิก หรือ กรดไอโซแอสคอร์บิก (d-isoascorbic acid) มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเท่าเทียมกับกรดแอสคอร์บิก และมีกลไกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกัน (Fennema และคณะ,1973) แต่กรดอิริทอร์บิกจะไม่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมือนกรดแอสคอร์บิก ในกรณีที่ต้องการเพิ่มวิตามินซีในผลิตภัณฑ์จะใช้กรดแอสคอร์บิก ส่วนกรดอิริทอร์บิกมักจะใช้ร่วมกับกรดซิตริกในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแทนการใช้ซัลไฟต์ (Wiley,1994)

Santerre ,Cash และ Vannorman (1988) ศึกษาเปรียบเทียบผลของกรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทอร์บิกต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ในชิ้นแอปเปิลแช่เยือกแข็ง พบว่า กรดอิริทอร์บิกมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างจากกรดแอสคอร์บิก

2.4.3 น้ำตาลหรือน้ำเชื่อม มักเติมในผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ความหวาน ช่วยรักษากลิ่นรสของผลไม้ และช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลโดยทำหน้าที่เป็นตัวกันออกซิเจนเข้าไปในผลิตภัณฑ์ (Fennema ,1975)

การใช้สารเคมีนอกจากจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase แล้ว ยังใช้เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส หรือรักษากลิ่นรส การปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่เยือกแข็ง

Cooke และคณะ (1976) ศึกษาการแช่เยือกแข็งมะม่วงชิ้นพันธุ์ Alphonso พบว่าการแช่ชิ้นมะม่วงในน้ำเชื่อม 20 องศาบริกซ์ ที่มีแคลเซียมคลอไรด์ 2 % ก่อนการแช่เยือกแข็ง จะช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น

Olorunda และ Tung (1984) ศึกษาผลของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพของกล้วยแช่เยือกแข็ง โดยแช่กล้วยในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่แปรความเข้มข้น

0 1300 และ 2700 ppm พบว่า แคลเซียมคลอไรด์จะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของกล้วยหลังละลายน้ำแข็ง และทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น

3. การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งอาหารเป็นลักษณะการการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากอาหารไปที่สารให้ความเย็น โดยสารให้ความเย็นนี้อาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ

3.1 วิธีแช่เยือกแข็ง

วิธีแช่เยือกแข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีดังนี้ (Fennema ,1975)

3.1.1 air freezing เป็นวิธีแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็นที่มีอุณหภูมิ -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส ซึ่งอาหารอาจบรรจุหรือไม่บรรจุในภาชนะบรรจุก็ได้ เมื่ออาหารสัมผัสลมเย็นเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน น้ำในอาหารจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง

(1) sharp freezing หรือ still air freezing เป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า โดยลมเย็นมีการหมุนเวียนช้ามาก หรือไม่มีการหมุนเวียนเลย จนกว่าอาหารจะเกิดการแช่เยือกแข็ง ซึ่งต้องใช้เวลา 3-72 ชั่วโมง ขึ้นกับขนาดของอาหาร อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร และการจัดเรียงอาหารในห้องเย็น

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถแช่อาหารได้ในปริมาณมาก ส่วนข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานทำให้เกิดความเสียหายต่ออาหารได้

(2) air blast freezing เป็นวิธีแช่เยือกแข็งที่อาศัยการหมุนเวียนของลมเย็นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้อาหารเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยลมเย็นมีอุณหภูมิ -18 ถึง -34 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมที่ใช้ 100-3,500 ฟุตต่อนาที การแช่เยือกแข็งแบบนี้สามารถทำได้ทั้งระบบต่อเนื่องโดยใช้สายพานส่งอาหารเข้าไปในห้องเย็น และแบบไม่ต่อเนื่องโดยใส่ถาดแล้วนำเข้าสู่ห้องเย็น

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถใช้กับอาหารที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ ได้ ข้อเสีย คือ จะเกิดการสูญเสียความชื้นจากอาหารมากถ้าไม่บรรจุในภาชนะบรรจุก่อนแช่เยือกแข็ง อาหารที่บรรจุในภาชนะขนาดเล็ก จะเกิดการโป่งพองหลังการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากการขยายตัว

(3) fluidized-bed freezing เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจาก air blast freezing แต่มีหลักการต่างกัน คือ ใช้ลมเย็นเป่าผ่านชิ้นอาหารจากตอนล่างของสายพานขึ้นมาด้วยความเร็วสูงเพียงพอที่จะทำให้ชิ้นอาหารลอยตัวอยู่ในกระแสลม และเกิดการเยือกแข็ง ลมเย็นที่ใช้มีอุณหภูมิ -34 องศาเซลเซียส ความเร็วไม่น้อยกว่า 375 ฟุตต่อวินาที วิธีนี้เหมาะกับอาหารที่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างสม่ำเสมอ เช่น สตรอเบอรี ถั่วลันเตา เมล็ดข้าวโพด

ข้อดีของวิธีนี้ คือ การถ่ายเทความร้อนและอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วกว่า air blast freezing เนื่องจากอาหารมีลักษณะลอยตัวไม่ติดกัน พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอาหารกับลมเย็นจึงมีมากขึ้น การสูญเสียความชื้นจากอาหารจะมีน้อยกว่า เนื่องจากใช้เวลาแช่เยือกแข็งน้อย ข้อเสียของวิธีนี้คืออาหารที่มีขนาดใหญ่ และมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ จะไม่สามารถทำให้อยู่ในสภาวะลอยตัวได้

3.1.2 plate freezing เป็นวิธีแช่เยือกแข็งที่อาหารไม่สัมผัสกับกับสารให้ความเย็นโดยตรง เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนระหว่างอาหารกับแผ่นโลหะที่เย็นแบบการนำความร้อน อาหารวางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะซึ่งทำให้เย็นโดยใช้สารให้ความเย็น เช่น แอมโมเนีย R-12 (dichlorodifluoromethane) R-22 (monodichlorodifluoromethane)

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ลดการสูญเสียน้ำจากอาหาร ลดปัญหาการโป่งพองหลังการแช่เยือกแข็งของอาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุ ส่วนข้อเสีย คือ อาหารต้องมีความหนาสม่ำเสมอ การบรรจุอาหารในภาชนะบรรจุต้องไม่ทิ้งช่องว่างให้มีอากาศอยู่ภายใน เพราะทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งช้าลง

3.1.3 liquid immersion freezing เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งโดยให้อาหารสัมผัสกับสารให้ความเย็นที่เป็นของเหลว ช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ดีกว่าอากาศ การแช่เยือกแข็งทำโดยนำอาหารที่บรรจุหรือไม่บรรจุในภาชนะบรรจุ จุ่มในสารให้ความเย็นที่เป็นของเหลว หรือโดยการพ่นสารให้ความเย็นลงบนอาหาร สารให้ความเย็นที่ใช้ต้องรับประทานได้ ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ ไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สารให้ความเย็นที่ใช้ ได้แก่ โพรพิลีนไกลคอล แคลเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ กลีเซอรอล

ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถใช้กับอาหารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว อาหารที่ไม่บรรจุในภาชนะบรรจุจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กสม่ำเสมอที่ผิวทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ดี และผลึกน้ำแข็งที่เคลือบอยู่จะป้องกันการสูญเสียความชื้นจากอาหารในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนข้อเสีย คือ การหาสารให้ความเย็นที่เหมาะสมกับอาหารทำได้ยาก

3.1.4 cryogenic freezing เป็นวิธีแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก และมีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วมาก อาหารบรรจุหรือไม่บรรจุในภาชนะบรรจุจะสัมผัสกับสารให้ความเย็นโดยตรงในขณะที่สารให้ความเย็นมีการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งหรือของเหลวเป็นก๊าซ ซึ่งจะดึงความร้อนออกจากอาหารทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว สารให้ความเย็นที่ใช้ เช่น ไนโตรเจนเหลว ซึ่งมีจุดเดือดต่ำมาก คือ -195.81 องศาเซลเซียส อัตราการแช่เยือกแข็งของวิธีนี้จะเร็วกว่า air blast freezing และ plate freezing มาก แต่จะเร็วกว่า fluidized-bed freezing และ liquid immersion freezing เล็กน้อย

ข้อดีของวิธีนี้ คือ อาหารมีการสูญเสียความชื้นน้อยมาก คือ น้อยกว่า 1 % เนื่องจากอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วมาก ลดการสัมผัสกับออกซิเจนทำให้ลดปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่ต้องการ และลดความเสียหายเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง โดยเฉพาะอาหารที่ไม่ทนต่อภาวะการแช่เยือกแข็ง เช่น สตรอเบอรี อะโวกาโด ส่วนข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูง

3.2 อัตราการแช่เยือกแข็ง

อัตราการแช่เยือกแข็งมีความหมายต่าง ๆ กัน เช่น หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหนึ่งหน่วยเวลา อัตราการคายความร้อน หรือปริมาณน้ำแข็งที่เกิดขึ้นต่อหน่วยน้ำหนักหรือต่อหน่วยเวลา ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแช่เยือกแข็งมีดังนี้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก,2529)

- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอาหารกับสารให้ความเย็น ถ้ามีความแตกต่างสูง จะเกิดการถ่ายเทความร้อนสูง เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจะน้อย

- วิธีส่งผ่านความร้อนระหว่างอาหารกับสารให้ความเย็น เช่น การนำความร้อน การพาความร้อน

- ชนิด ขนาด และรูปร่างของภาชนะบรรจุ อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุก่อนการแช่เยือกแข็ง ภาชนะบรรจุจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างและสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้

- ขนาด รูปร่าง และสมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ เวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น

อัตราการแช่เยือกแข็งมีผลต่อผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อของผลไม้ และมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ วิธีแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็ว จะเกิดน้ำแข็งขนาดเล็กและปริมาณมากกระจายอยู่ภายในเซลล์ (intracellular crystal) ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์น้อย เมื่อละลายน้ำแข็งจะสูญเสียน้ำออกเซลล์น้อย สารอาหารต่าง ๆ ก็สูญเสียไปน้อย จะช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ นอกจากนี้เอนไซม์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส หรือเกิดสีน้ำตาลถูกยับยั้งอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางชีวเคมีลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ส่วนวิธีแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า จะเกิดผลึกขนาดใหญ่ในส่วนของช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) ผลึกน้ำแข็งจะเกิดภายนอกเซลล์ (extracellular crystal) เมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น จะดึงน้ำออกจากเซลล์ ทำให้เซลล์เหี่ยวและเสียรูป เซลล์จะถูกทำลายได้ง่าย เมื่อละลายน้ำแข็งจะสูญเสียน้ำออกจากเซลล์มาก สารอาหารต่าง ๆ ก็จะสูญเสียออกไปมาก (ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527)

การแช่เยือกแข็งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร น้ำบริสุทธิ์เมื่อเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 9 % ส่วนในผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อแช่เยือกแข็งจะเกิดการ

เปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยกว่า เช่น สตรอเบอรีจะเพิ่มขึ้น 3 % ราสเบอรีจะเพิ่มขึ้น 4 % เนื่องจากมีน้ำเพียงส่วนหนึ่งที่ถูกแช่เยือกแข็ง ขณะเดียวกันโครงสร้างของอาหารจะมีช่องอากาศอยู่ จึงมีช่องว่างสำหรับผลึกน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น วิธีแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วมาก เช่น cryogenic freezing น้ำในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นน้ำแข็งเร็วมาก เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็ว ความดันภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยแตกได้ (Fennema และ Powrie,1964 ; International Institute of Refrigeration[IIR],1972 ; Brown,1979) การป้องกันการเกิดรอยแตกนี้ทำโดยการลดอัตราการแช่เยือกแข็ง หรือลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงก่อนแช่เยือกแข็ง(Hung และ Kim ,1996)

Isaacs (1986) ศึกษาผลของวิธีแช่เยือกแข็งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงชิ้นแช่เยือกแข็ง พบว่า มะม่วงที่แช่เยือกแข็งโดยวิธี air blast freezing ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่ามะม่วงที่แช่เยือกแข็งโดยวิธี still air freezing ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพราะมีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วกว่าผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่า จึงมีการทำลายเนื้อเยื่อของมะม่วงน้อยกว่า

Olorunda และ Tung (1984) ศึกษาผลของวิธีแช่เยือกแข็งที่มีต่อการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อในกล้วยแช่เยือกแข็ง ด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง 3 วิธี คือ 1) cryogenic freezing โดยใช้ไนโตรเจนเหลวอุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส ใช้เวลาแช่เยือกแข็ง 0.16 ชั่วโมง 2) liquid immersion freezing โดยจุ่มใน 60 % ethylene glycol ที่อุณหภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส ใช้เวลาแช่เยือกแข็ง 0.6 ชั่วโมง และ 3) still air freezing อุณหภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส ใช้เวลาแช่เยือกแข็ง 2.1 ชั่วโมง พบว่ากล้วยที่แช่เยือกแข็งโดยวิธี cryogenic freezing ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วที่สุด มีการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อน้อยที่สุด ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสดี ส่วนกล้วยที่แช่เยือกแข็งโดยวิธี still air freezing ซึ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งช้าที่สุด มีการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อมากที่สุด ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม

4. ภาชนะบรรจุสำหรับผลไม้แช่เยือกแข็ง

การบรรจุผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งสามารถทำได้ก่อนหรือหลังการแช่เยือกแข็ง ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในกระบวนการผลิตและการแช่เยือกแข็ง คุณสมบัติหลักของภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งมีดังนี้ (มยุรี ภาคลำเจียก,2535)

- สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้อย่างปลอดภัย
- สามารถป้องกันการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ดี เพราะการเสียน้ำทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์แห้ง และทำให้เกิด freeze burn

- สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี ออกซิเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนสีและรสชาติ

- เก็บรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ดี และป้องกันกลิ่นแปลกปลอมต่าง ๆ จากภายนอกได้ดี

- ทนต่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็ง (-40 องศาเซลเซียส) หรือทนอุณหภูมิในการเก็บรักษา (-20 องศาเซลเซียส)

- มีความแข็งแรง ป้องกันความเสียหายทางกายภาพ เช่น การกดทับ การตกกระแทกในระหว่างการขนส่งหรือขณะเก็บรักษา

- ไม่ก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

5. การเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็ง

ปกติผลไม้แช่เยือกแข็งจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ถ้ายิ่งเก็บที่อุณหภูมิต่ำการสูญเสียคุณภาพก็ยิ่งน้อยลง สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น แต่จะเสียค่าใช้จ่ายสูง (Ciobanu และคณะ,1976) ที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ และการทำงานของเอนไซม์ก็จะลดลง การสูญเสียคุณภาพในช่วงการเก็บรักษาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางชีวเคมี และทางกายภาพ (Fennema และคณะ,1973) นอกจากนี้ ต้องรักษาอุณหภูมิการเก็บรักษาให้คงที่ โดยไม่ควรจะแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส (Mallett,1993)

ระหว่างการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จะเกิดการตกผลึกใหม่ (recrsytalization) โดยผลึกน้ำแข็งจะรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ไม่คงที่ ผลึกน้ำแข็งมีรูปร่างเปลี่ยนไป และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง ทำให้เกิดการทำลายเซลล์ มีผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้น (Jul,1984) นอกจากนี้จะเกิด freezer burn เนื่องจากการสูญเสียความชื้น โดยการระเหิดของน้ำแข็ง หรือการระเหยของน้ำ ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์มีรูพรุน และมีสีเข้มขึ้น การเกิด freezer burn สามารถป้องกันได้โดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง หรือบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุที่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้ (Fennema และคณะ,1973 ; Follows,1990)

ระหว่างการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็ง จะสูญเสียสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะวิตามินซี และ β-carotene Marin,Cano และ Fuster (1992) ศึกษาผลของอายุการเก็บที่มีต่อคุณภาพของมะม่วงชิ้นแช่เยือกแข็ง โดยใช้มะม่วง 4 พันธุ์ คือ Lippins Smith Palmer และ Davis-Haden บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสนาน 4 เดือน พบว่า ปริมาณวิตามินซีในมะม่วงพันธุ์ Lippens และ Smith ลดลงถึง 73 % ขณะที่

มะม่วงพันธุ์ Palmer และ Davis-Haden ลดลง 57 % ส่วนปริมาณ β-carotene ในมะม่วงพันธุ์ Lippens Smith และ palmer จะลดลงมาก ส่วนมะม่วงพันธุ์ Davis-Haden จะลดลงเพียงเล็กน้อย

6. การละลายน้ำแข็งในผลไม้แช่เยือกแข็ง

การละลายน้ำแข็งแบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะการได้รับความร้อน คือ การละลายโดยได้รับความร้อนจากภายนอกชิ้นอาหาร และการละลายที่เกิดขึ้นจากความร้อนภายในชิ้นอาหาร การละลายที่เกิดจากความร้อนภายนอกชิ้นอาหารเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นอากาศ น้ำ ไอน้ำ หรือแผ่นโลหะที่ร้อน การละลายน้ำแข็งในอากาศมีข้อดี คือ ใช้กับอาหารได้ทุกประเภท แต่มีข้อเสีย คือ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวของอาหาร และใช้เวลาละลายน้ำแข็งนานมาก ส่วนการละลายน้ำแข็งด้วยน้ำมีข้อได้เปรียบกว่าการละลายน้ำแข็งในอากาศ คือ ใช้เวลาน้อยกว่า ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่มีข้อเสีย คือ ใช้กับอาหารบางชนิดได้เท่านั้น ยังทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหาร สูญเสียกลิ่นรส และทำให้ผิวของอาหารเปื่อยยุ่ย การละลายน้ำแข็งที่อาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นอาหารโดยการเปลี่ยนแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน เช่น การละลายน้ำแข็งโดยใช้ไมโครเวฟ (Ciobanu และคณะ,1976)

การละลายน้ำแข็งในผลไม้แช่เยือกแข็งไม่นิยมใช้ความร้อนเหมือนอย่างในผัก เพราะจะบริโภคผลไม้ในลักษณะผลไม้สดโดยไม่ผ่านการหุงต้ม การละลายน้ำแข็งในผลไม้แช่เยือกแข็งที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุขนาดเล็ก ทำได้โดยการวางทิ้งไว้ให้ละลายโดยไม่เปิดภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส นาน 6-12 ชั่วโมง หรือวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 3-6 ชั่วโมง การละลายน้ำแข็งในผลไม้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 0-10 องศาเซลเซียส จะช่วยให้ผลไม้หลังการละลายน้ำแข็งมีลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสที่ดีกว่า การนำผลไม้แช่เยือกแข็งมาละลายที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ผลไม้ที่ละลายน้ำแข็งแล้วมีลักษณะเหี่ยวและเกิดการยุบตัว ผิวของผลไม้มีสีคล้ำ และกลิ่นรสเปลี่ยนไป โดยเฉพาะกรณีที่ละลายน้ำแข็งในภาชนะเปิด หลังการละลายน้ำแข็งควรรีบนำผลไม้ไปใช้ให้หมดทันที เพราะหลังการละลายน้ำแข็งผลไม้จะเกิดการเสื่อมเสียในด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสเร็วมาก (Ciobanu และคณะ,1976) เนื่องจากหลังละลายน้ำแข็งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น เหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์ ผลไม้จึงเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสจะนิ่มมาก เพราะผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำลายเนื้อเยื่อของผลไม้ (Woodroof และ Luh,1975)

โดยทั่วไปการละลายน้ำแข็งในผลไม้แช่เยือกแข็งจะไม่ละลายน้ำแข็งจนหมด เพราะจะทำให้เนื้อสัมผัสนิ่ม จึงนิยมรับประทานผลไม้แช่เยือกแข็งในลักษณะที่ยังมีผลึกน้ำแข็งเหลืออยู่บ้าง เพื่อให้ลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น (Woodroof และ Luh,1975)