บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลักษณะทั่วไปของขนุน

ขนุนเป็นไม้ยืนต้นที่มีชื่อสามัญ Jackfruit มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Artocarpus heterophyllus* Lamk. ชื่อวงศ์ Moraceae (ประสิทธิ์ ชูติชูเดช, 2537)

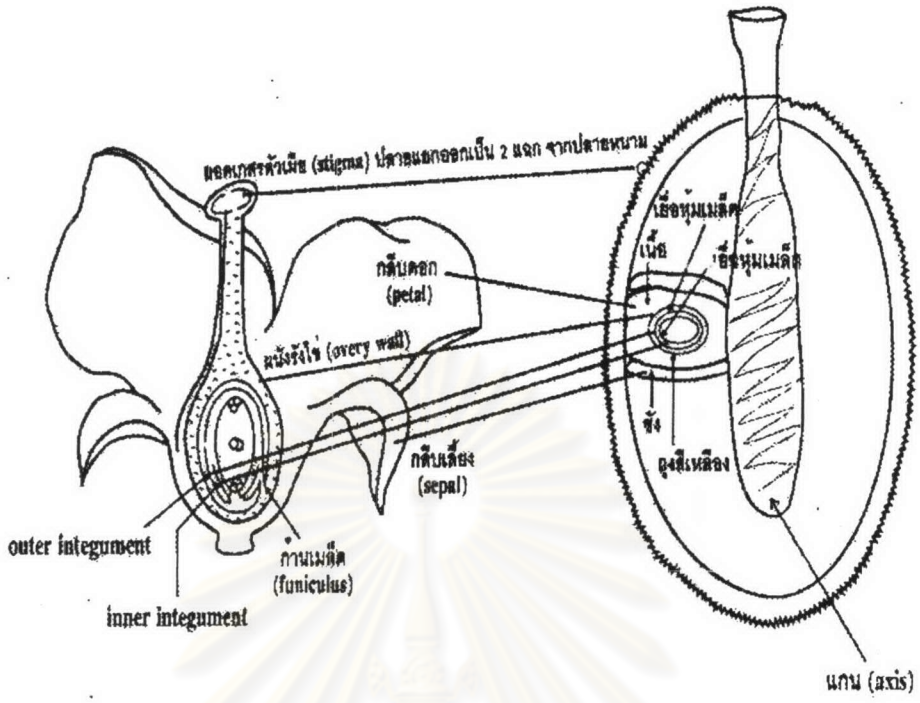
ลักษณะทั่วไปของขนุน ขนุนเป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ อายุยืน มีน้ำยางสีขาว ต้นทรงพุ่มทึบ ออกดอกและผลตามส่วนของลำต้นและกิ่งแก่ ภายนอกผลเป็นหนามถี่ ภายในมีวงสีเหลือง หรือสีจำปา น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 18 – 50 กิโลกรัม อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 30 – 40°C (นฤชิต แวงศรีผ่อง, 2529) การตกผลจะใช้เวลา 3 – 5 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของขนุนว่าเป็นพันธุ์หนักหรือพันธุ์เบา ส่วนต่างๆ ของขนุนประกอบด้วย (อภิชาติ ศรีสอาด, 2543)

ลำต้น ต้นขนุนมีขนาดใหญ่ สูงประมาณ 10 – 25 เมตร ลำต้นจะตั้งตรง เนื้อไม้เป็นไม้เนื้ออ่อน มีสีเหลือง สามารถใช้ต้มนำมาย้อมผ้าสีเหลือง เรียกว่า กรัก ใช้เป็นท่อนไม้เพาะเห็ดหูหนู ซึ่งให้ผลผลิตดีเมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่น นอกจากนี้ เนื้อของไม้ขนุนนิยมนำมาใช้ทำเครื่องดนตรีคือ จะเข้

ใบ ขนุนมีใบยาวเรียวรูปไข่ เนื้อใบหนาหยาบ ใบมีสีเขียวเข้มผิวเป็นมัน และมีขน ขนาดของใบกว้าง 2 – 5 นิ้ว ยาว 4 – 8 นิ้ว ใบจะร่วงหล่นเมื่อใบแก่

ดอก ดอกขนุนมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกอยู่คนละดอกแต่อยู่บนต้นเดียวกัน ดอกตัวเมียจะออกตามลำต้นและกิ่ง ส่วนดอกตัวผู้ออกตามปลายของกิ่งอ่อน ดอกทั้งสองชนิดของขนุนจะมีสีเขียว ออกเป็นช่อแบบ spike หรือ head ซึ่งมีหูใบอันใหญ่ปกคลุมไว้เมื่อยังอ่อน ดอกตัวผู้จะมีมากกว่าดอกตัวเมีย เมื่อดอกตัวผู้ผสมกับดอกตัวเมีย ดอกตัวผู้จะร่วงหลุด ส่วนดอกตัวเมียเมื่อได้รับการผสมจะกลายเป็นผลต่อไป ช่วงที่ขนุนออกดอกมากคือ ช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคม และช่วงเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม

ผล ผลขนุนเป็นแบบผลรวมชนิดหนึ่งคือ มีหลายดอกในช่อดอกเดียวกัน (สังเกตจากผลขนุนในหนึ่งผลจะมีหลายเมล็ด) ส่วนที่เป็นเนื้อขนุนรอบๆ แต่ละเมล็ดเกิดจากกลีบดอกชั้นนอกของดอกๆ เดียว ปลายสุดของทุกๆ กลีบชั้นนอกจะรวมติดอยู่ด้วยกัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของดอกขนุนสัมพันธ์กับโครงสร้างของผล
ที่มา : เปรมปรี (2541)

ในประเทศไทยมีชื่อที่ใช้เรียกขนุนต่างกัน เช่น มะหนุน (ภาคเหนือ) ขนุน (ภาคใต้) บักมี่ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ชะนู (ชาวกาญจนบุรี) ขนุนเป็นผลไม้ที่ปลูกมากบริเวณเขตร้อนของโลก เป็นผลไม้พื้นเมืองของอินเดีย และประเทศในเขตมลายู สำหรับประเทศไทยจะปลูกขนุนกระจายไปทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เขตที่ปลูกมากได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง ตราด ซึ่งเป็นแหล่งปลูกที่เก่าแก่โดยเฉพาะขนุนหนัง ได้แก่ พันธุ์ฟ้าถล่ม เหรียญทอง ส่วนภาคตะวันตกจะปลูกมาก เช่น จังหวัดราชบุรี กาญจนบุรี พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์เหลืองบางเตย ทองสุดใจ เป็นต้น

พันธุ์ขนุนที่พบปัจจุบัน แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ขนุนป่าและขนุนบ้าน ขนุนป่าไม่เหมาะจะรับประทาน ส่วนขนุนบ้านผลรับประทานได้ทั้งผลดิบและสุก เวลาสุกเนื้อจะมีสีเหลืองหรือสีส้มแดง ขึ้นกับพันธุ์ ขนุนบ้านทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 อย่างตามลักษณะของเนื้อเวลาสุก คือ ขนุนละมุดและขนุนหนัง โดยขนุนหนังสามารถแบ่งตามลักษณะของสีเนื้อได้อีกเป็น ขนุนเนื้อสีเหลือง และขนุนเนื้อสีจำปา ขนุนเนื้อสีเหลือง เช่น พันธุ์เหลืองบางเตย ฟ้าถล่ม เหรียญทอง ทองสุดใจ ศรีบรรจง ส่วนขนุนเนื้อสีจำปา เช่น พันธุ์จำปากรอบ (นฤชิต แววศรีผ่อง, 2529)

สายพันธุ์ที่น่าสนใจและลักษณะที่สำคัญ (เปรมปรี ณ สงขลา, บรรณาธิการ, 2541)

ขนุนพันธุ์ทองสุดใจ ขนุนพันธุ์นี้มีดัชนีการเก็บเกี่ยว 270 – 300 วันนับตั้งแต่ดอกบานจนผลแก่

ลักษณะผล ผลรูปไข่ค่อนข้างกลม โดยมากมีผิวเรียบสม่ำเสมอทั้งผล สีผิวไม่สม่ำเสมอ มีสีดำน้ำตาลหรือเหลืองอมน้ำตาล น้ำหนักผลเฉลี่ย 20 กก./ผล (ช่วง 8 – 29 กก.) เปลือกบาง ปลายหนามแหลม เนื้อยวงใหญ่ ยวงหนาประมาณ 0.5 ซม. รสหวานปานกลาง วัดได้ 18 °Brix เนื้อยวงแห้งกรอบ ส่วนที่เป็นเนื้อยวงมีประมาณ 35 – 40% ของน้ำหนักผล ซังมีน้อย เมล็ดเล็ก พันธุ์นี้ได้รับความสนใจและนิยมปลูกทั่วประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นไม้ผลพันธุ์ส่งเสริมของกรมส่งเสริมการเกษตรมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 (ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และ ศิวาพร ธรรมดี, 2542)

ขนุนพันธุ์จำปากรอบ ขนุนพันธุ์นี้มีดัชนีการเก็บเกี่ยว 270 – 300 วันนับตั้งแต่ดอกบานจนผลแก่

ลักษณะผล เปลือกมีสีเหลืองอมเขียว หนามสั้นห่าง ผลไม่กลม ผิวขรุขระ น้ำหนักผลเฉลี่ย 12 – 25 กก./ผล ส่วนที่เป็นเนื้อยวงมีประมาณ 30 – 35% ของน้ำหนักผล (ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และ ศิวาพร ธรรมดี, 2542) เนื้อยวงหนาปานกลางคือประมาณ 0.4 ซม. เมื่อผลแก่จะมีสีจำปา เนื้อแข็งกรอบ เนื้อไม่เละแม้สุกจัด สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าพันธุ์อื่นๆ รสชาติไม่หวานจัด วัดได้ 19 °Brix เปรี้ยวเล็กน้อย ยวงขนุนพันธุ์นี้เหมาะสำหรับแกะเนื้อขายหรือแช่แข็ง ขนุนพันธุ์นี้เป็นขนุนที่น่าปลูกมากที่สุดในบรรดาขนุนเนื้อสีจำปาด้วยกัน เนื้อยวงเป็นที่ต้องการของคนไทยและชาวต่างชาติ นอกจากนี้ยังเป็นไม้ผลพันธุ์ส่งเสริมของกรมส่งเสริมการเกษตรมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2531

ขนุนพันธุ์เหลืองบางเตย ขนุนพันธุ์นี้มีดัชนีการเก็บเกี่ยว 270 – 300 วันนับตั้งแต่ดอกบานจนผลแก่

ลักษณะผล ผลรูปทรงไข่ขนาดใหญ่ ผลหนัก 25 กก./ผล ปกติผลมีน้ำหนักประมาณ 10 – 15 กก./ผล ส่วนที่เป็นเนื้อยวงมีประมาณ 35 – 40% ของน้ำหนักผล (ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และ ศิวาพร ธรรมดี, 2542) ผิวผลอ่อนมีสีเขียวอมเหลือง ผลแก่จะมีสีน้ำตาลเข้ม หนามขนาดปานกลาง เนื้อยวงยาวประมาณ 8 – 8.5 ซม. ยวงหนา 0.5 – 1.2 ซม. ยวงสีเหลืองจัด รสชาติหวาน วัดได้ 21 °Brix เนื้อกรอบไม่เละสามารถเก็บรักษาได้นานหลายวัน ปัจจุบันขนุนพันธุ์นี้แพร่หลายไปหลายท้องที่ สามารถขายได้ราคาแพงกว่าพันธุ์ทองสุดใจ (เปรมปรี ณ สงขลา, บรรณาธิการ, 2541)

คุณค่าทางอาหารของขนุนจากส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีดังนี้

ขนุนสุก 100 กรัม ให้พลังงาน 94 กิโลแคลอรี่ มี โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลเซี่ยม 1.7, 0.3, 23.7, 27 กรัม และให้ฟอสฟอรัส ไทอะมีน ไนอะซิน กรดแอสคอร์บิก 38, 0.11, 0.07, 9 มิลลิกรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารขนุนกับผลไม้หลายๆ ชนิด แสดงได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของผลไม้ไทยในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

	หน่วย	ขนุน	เงาะ	ลิ้นจี่	มังคุด	ลำไย
น้ำ	กรัม	72.9	82.0	82.1	84.3	81.0
โปรตีน	กรัม	1.7	1.0	0.8	0.5	1.0
ไขมัน	กรัม	0.3	0.1	0.4	0.3	64
กาก (เส้นใยหยาบ)	กรัม	0.9	1.1	0.2	5	0.3
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	23.7	16.5	16.3	14.7	15.6
ค่าพลังงาน ความร้อน	กิโลแคลอรี่	94	64	65	57	71
แคลเซี่ยม	มิลลิกรัม	27	20	10	10	23
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	38	15	29	10	36
เหล็ก	มิลลิกรัม	0.6	1.9	0.3	0.5	0.4
วิตามินเอ	หน่วยสากล	392	–	–	–	–
วิตามินบี 1	มิลลิกรัม	0.09	0.01	0.05	0.03	0.03
วิตามินบี 2	มิลลิกรัม	0.11	0.06	0.60	0.02	0.14
ไนอะซิน	มิลลิกรัม	0.07	0.4	0.6	0.06	0.3
วิตามินซี	มิลลิกรัม	9	53	50	4	56

ที่มา : รายงานกิจกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2532)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางจะพบว่า ขนุนเป็นผลไม้ที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงและมีวิตามินเออยู่มากคือ 392 หน่วยสากล มากกว่า เงาะ ลิ้นจี่ มังคุด ลำไย นอกจากแง่คุณค่าทางโภชนาการแล้ว ขนุนน่าจะได้รับความสนใจ และสนับสนุนมากต่อไปในอนาคต เนื่องมาจากข้อดีของขนุน (สำนักงานพาณิชย์ จังหวัดชลบุรี, 2537) หลายๆ ด้านเช่น

- เป็นผลไม้ที่ปลูกได้ง่าย และได้ผลดีในทุกภาคของประเทศไทย
- เป็นพืชที่ให้ผลค่อนข้างแน่นอน ไม่ต้องการสภาพอากาศเฉพาะเพื่อช่วยในการออกดอก
- เป็นไม้ผลที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีความทนทานต่อความแห้งแล้ง และโรคแมลงศัตรูพืชได้ดี เหตุนี้ทำให้การปลูกมีต้นทุนการผลิตต่ำ โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา ค่าแรงงาน ค่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และผู้บริโภคก็ได้บริโภคผลไม้ที่ปลอดสารพิษ
- เป็นไม้ผลโตเร็ว สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้หลังปลูก 2 ปีครึ่ง ถึง 4 ปี นอกจากนี้การปลูกขนุนเป็นการลงทุนเพียงครั้งเดียว สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตขายได้ยาวนาน
- ผลขนุนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ดัดแปลงได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่ผลอ่อน ผลสุก เมล็ด ยวง และใบอ่อน เปลือกและซังขนุนที่แกะเนื้อออกแล้วใช้เป็นอาหารสัตว์ได้
- เป็นไม้ผลที่มีช่วงเวลาในการให้ผลค่อนข้างยาว สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เรื่อยๆ ประกอบกับลักษณะการซื้อขายมีหลายรูปแบบ เช่น ถ้าขนุนแก่ราคาถูกก็จะขายเป็นขนุนเชื่อม แช่เยือกแข็งหรือแปรรูป
- เป็นไม้ผลที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก การเสียหายเนื่องจากการร่วงหล่นของผลมีน้อย ทำให้การตรวจสอบและควบคุมปริมาณของผลผลิตได้ง่าย
- ไม่มีปัญหาในเรื่องแรงงานในการเก็บเกี่ยว ต่างกับทุเรียน เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ ซึ่งต้องใช้แรงงานมาก
- ให้ผลผลิตและผลตอบแทนต่อไร่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการปลูกไม้ผลชนิดอื่นที่มีชื่อเสียง เช่น ทุเรียน ส้มโอ เป็นต้น ถ้าคิดคำนวณต้นทุนกำไร พบว่าขนุนทำรายได้ดีแก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก โดยราคาขายรวมทั้งผล 3 – 7 บาท/กก. ขนุนพันธุ์ 8 – 15 บาท/กก. ขนุนแก่ส่งโรงงาน 13 – 20 บาท/กก. ขนุนแกะขายปลีก 20 – 60 บาท/กก.

2.2 กระบวนการแปรรูปผลไม้แช่เยือกแข็ง

คุณภาพวัตถุดิบก่อนการแช่เยือกแข็งพิจารณาดังนี้

1. การเก็บเกี่ยวผลขนุน (เปรมปรี ณ สงขลา, บรรณาธิการ, 2541)

สามารถพิจารณาความแก่ของผลขนุนจากลักษณะหนึ่งลักษณะใดหรือหลายลักษณะดังนี้

- ฟังเสียงเคาะ ถ้ามีเสียงโปร่งหรือเสียงดังปุๆ แสดงว่าผลแก่
- สีของผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาลมากขึ้น
- ทดสอบความแก่โดยใช้มีดกรีดขั้วผล ถ้ามียางไหลน้อย ยางใส แสดงว่าผลแก่ ถ้ายางเหนียวข้น แสดงว่าผลยังไม่แก่
- ใบที่ติดขั้วผล หากใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือร่วงหล่นแสดงว่าผลแก่
- สังเกตหนามของผล ถ้าหนามโตเต็มที่ ขยายห่าง ปลายหนามสีดำทู่ไม่คมแสดงว่าผลแก่
- บีบผล ถ้าผลขนุนอ่อนนุ่มแสดงว่าผลแก่
- ดมกลิ่น ถ้ามีกลิ่นหอมแสดงว่าผลแก่
- นับอายุผล ซึ่งเป็นวิธีค่อนข้างแน่นอน โดยทั่วไปผลจะแก่เต็มที่ เมื่อผลมีอายุได้ประมาณ 270 – 300 วัน นับตั้งแต่ผสมเกสรติด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ว่าเป็นพันธุ์หนักหรือพันธุ์เบา นอกจากนี้สภาพแวดล้อมจะมีผลต่อการแก่ของขนุน เช่น ถ้าอากาศร้อนขนุนจะแก่เร็วขึ้น และการตัดขั้วผลสั้นจะเร่งการสุกของขนุนเร็วขึ้น ขณะที่ขนุนที่ได้รับน้ำมากอย่างสม่ำเสมอหรือหากได้รับธาตุไนโตรเจนสูงขนุนจะแก่ช้า

ระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลขนุนเป็นขนุนแก่ แบ่งความแก่เป็น 2 ระยะคือ

- ระยะผลขนุนใกล้แก่ จะเก็บเกี่ยวผลแก่เต็มที่ประมาณ 7 – 10 วัน เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานวันโดยผลยังไม่สุก ระยะนี้เนื้อยวงกรอบแข็ง มีสีอ่อนเล็กน้อย
- ระยะผลแก่เต็มที่ ผลสุกคาต้น เมื่อเก็บเกี่ยวระยะนี้สามารถใช้บริโภคเป็นขนุนสุกได้ทันที ระยะนี้เนื้อยวงอ่อน มีสีเข้ม และรสชาติหอมหวาน

2. การขนย้ายผลผลิต

หลังจากตัดผลจากต้นแล้ว อย่าให้ผลขนุนถูกแดดจัดหรืออยู่ในที่ร้อนจัด และขณะขนย้ายต้องทำด้วยความระมัดระวัง อย่าให้ตกกระแทกเกิดรอยช้ำหรือแตกเพื่อรักษาคุณภาพของผล

3. การทำความสะอาด (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543)

โดยทั่วไปเมื่อเก็บเกี่ยวผลไม้แล้วจะรีบขนย้ายไปยังโรงคัด เพื่อคัดเลือกทำความสะอาด ตัดแต่ง บรรจุ ฯลฯ โดยผลไม้จะถูกขนย้ายมารวม มีทั้งที่คุณภาพดีและไม่ดี ผลผลิตที่ไม่ดีได้แก่ ผลผลิตที่มีตำหนิ รูปทรงผิดปกติ อ่อนหรือแก่เกินไป ตลอดจนมีโรคและแมลง การทำความสะอาดจะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนผิวหรือคราบของสารเคมี เช่น ปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความสดให้ผลไม้และลดอุณหภูมิในผลไม้ด้วย ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่เป็นความร้อนที่สะสมอยู่ในผลไม้ตั้งแต่อยู่ในสวน และความร้อนจากการหายใจ (พเยาว์ รอดโพธิทอง, 2538) ในกรณีของขนุนมีสิ่งสกปรกที่ติดมาจะเป็นพวกฝุ่นละออง ยางขนุน แมลง หรือราดำเกาะอยู่ตามผิว ฉะนั้นจะกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้แปรงขนอ่อนขัดทำความสะอาดหรือใช้ลมเป่าออก หรืออาจใช้น้ำสะอาดล้างสิ่งสกปรกแล้วผึ่งให้ผลแห้ง

4. การคัดขนาดและแบ่งเกรด (พเยาว์ รอดโพธิทอง, 2538)

ผลผลิตที่ผ่านขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่มีคุณภาพดีตามมาตรฐานของผลไม้แต่ละชนิด และมีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและคุณภาพ สิ่งที่กำหนดคุณภาพผลไม้ต่างๆ เช่น พันธุ์ ขนาดของผล รูปร่าง ลักษณะ สี และตำหนิบนผลิตผล เป็นต้น

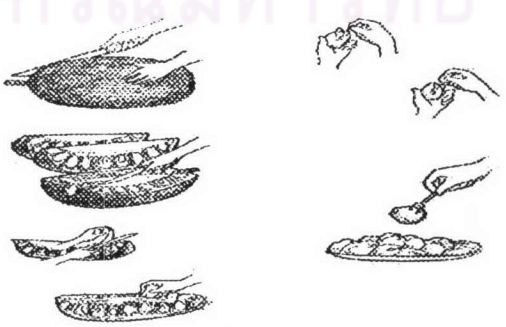
5. การบ่มผลขนุนให้สุก (เปรมปรี ณ สงขลา, บรรณาธิการ, 2541)

โดยทั่วไปจะบ่มขนุนในสภาพอุณหภูมิห้อง ขนุนจะสุกภายใน 3–4 วัน ถ้าต้องการเร่งให้ขนุนสุกเร็วอาจใช้ไม้ปลายแหลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 ซม. ยาว 10 – 15 ซม. ตอกที่ขั้วผลลึกเข้าไปประมาณ 5 – 10 ซม. ผลจะสุกเร็วกว่าบ่มแบบปกติประมาณ 1 – 2 วัน

6. การตัดแต่ง (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิภักดิ์, 2543)

การเก็บเกี่ยวผลไม้บางชนิดอาจมีส่วนของพืชติดมามากเกินไปหรือเป็นส่วนที่ไม่จำเป็น เช่น ราก ใบ ก้านผลหรือมีส่วนที่เกิดการเน่าเสีย ส่วนที่มีตำหนิจากโรคแมลงใบที่เริ่มเหลือง ดังนั้นการตัดแต่งส่วนต่าง ๆ จะต้องพิจารณาให้เหลือเฉพาะส่วนที่มีคุณภาพดีที่จะขายได้ มีขนาดพอเหมาะและบริโภคได้จริง สำหรับขนุนมีวิธีในการตัดแต่งและเอายวงออกมาได้ 2 วิธีใหญ่ๆ

6.1 ตัดแบ่งผ่ากลางผลเอาแกนกลางออก แล้วจึงใช้มีดแกะยวงและเอาเมล็ดออกมาตามลำดับดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการแกะขนุน

ที่มา : ดิเรก (2536)

6.2 ปอกเปลือกทั้งผล เช็ดยางเหนียวแล้วจึงค่อยๆ แกะยวงขนุนออกมาทีละยวงพร้อมกับแกะเมล็ดออก

การใช้มีดหรือเครื่องมือตัดแต่งควรใช้อุปกรณ์ที่มีความคม สะอาด เพื่อมิให้บาดแผลชอกช้ำหรือเกิดเชื้อโรคขึ้น และตัดแต่งเฉพาะส่วนที่จำเป็นเท่านั้น ระวังไม่ทำให้เกิดบาดแผลหรือตำหนิเพิ่มมากขึ้น และมิให้รอยตัดแต่งสัมผัสสิ่งที่ทำให้เกิดการติดเชื้อโรคได้

7. การเก็บรักษาผลผลิต

การเก็บรักษาขนุนจะเก็บผลขนุนทั้งผลไว้ที่อุณหภูมิ 13 °C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 85 – 90% สามารถเก็บรักษาผลขนุนได้นาน 2 – 6 สัปดาห์ โดยไม่เสียหาย ถ้าเก็บในอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ผลจะเกิดรอยช้ำเป็นสีดำที่ผิวผล โดยทั่วไปเนื้อขนุนที่แกะแล้วจะเน่าเสียภายใน 1 – 2 วัน ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ถ้าเก็บรักษาที่ 5 °C หรือ 1 °C สามารถเก็บได้นาน 9 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ (จริงแท้ ศิริพานิช และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2543) ถ้าเก็บในช่องแช่แข็งสามารถเก็บได้นานกว่า 2 เดือน

8. การแช่เยือกแข็งและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

หลักการแช่เยือกแข็ง (Freezing) คือ การลดอุณหภูมิของอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้นให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตนั้นๆ ไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ โดยน้ำในผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็ง โดยทั่วไปมักจะเป็นที่อุณหภูมิ –18 °C หรือต่ำกว่า ซึ่งน้ำเมื่อเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งจะไม่สามารถทำหน้าที่ต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมีและไม่เป็นสับสเตรตให้กับจุลินทรีย์ที่จะใช้ในการเจริญเติบโต (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร,2539) นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งหมายถึง การเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพ (physical state) ของน้ำจากของเหลวให้กลายเป็นของแข็ง ซึ่งสิ่งที่ปรากฏเมื่อพลังงานถูกกำจัดออกคือ โมเลกุลลดการเคลื่อนที่แบบ random ลง และมีการจัดระเบียบมากยิ่งขึ้น (Brown, 1976)

การแช่แข็งพืช พืชประกอบด้วย living cell ซึ่งถูกล้อมรอบโดยเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ซึ่งกักเก็บตัวถูกละลายไว้ ในเนื้อเยื่อพืชจะมีพื้นที่ว่างระหว่างเซลล์ เมื่อ living cell ถูกแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งจะปรากฏตามช่องว่างนี้ เนื่องจาก freezing point ของน้ำสูงกว่า solute ในเซลล์ ฉะนั้นการ cooling ที่ทำอย่างต่อเนื่องจะมีการเคลื่อนย้ายสารจากภายในเซลล์ไปสู่ภายนอกเซลล์ (Brown, 1976)

<u>วิธีการแช่เยือกแข็ง</u> (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2539)

8.1 การแช่เยือกแข็งโดยใช้อากาศเย็นจัด (air freezing) หลักการคือ นำอาหารที่อาจจะห่อหุ้มด้วยวัสดุบรรจุหรือไม่ก็ได้ วางในห้องที่มีอากาศเย็นจัดซึ่งมีระดับอุณหภูมิ –18 °C ถึง –40 °C โดยการหมุนเวียนของอากาศในห้องจะเป็นแบบการพาความร้อน

8.2 การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสแผ่นโลหะเย็นจัด (plate freezing) เป็นการนำอาหารที่ต้องการแช่เยือกแข็งมาวางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะกลวง ภายในช่องว่างของโลหะทำให้เย็นด้วยสารทำความเย็นที่ถูกเปลี่ยนจากไอเป็นของเหลว โดยการอัดด้วยความดันผ่านเครื่องคอมเพรสเซอร์ (compressor) เพื่อลดอุณหภูมิ และความดันให้อยู่ในลักษณะของเหลวเย็นจัดไหลผ่านเข้าในช่องว่างของแผ่นโลหะทำหน้าที่ดูดความร้อนจากอาหารไปสัมผัสบนแผ่นโลหะและเปลี่ยนเป็นไอหมุนเวียนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ สารทำความเย็นที่นิยม ได้แก่ แอมโมเนีย เป็นต้น

8.3 การแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (liquid – immersion freezing หรือ direct immersion freezing) โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแช่เยือกแข็งมาห่อหุ้มด้วยวัสดุบรรจุหรือไม่ก็ได้ จุ่มผลิตภัณฑ์ลงในถังของเหลวที่จะคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ที่อุณหภูมิ –18 °C หรือต่ำกว่านั้น และต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบ และคุณลักษณะของอาหาร ของเหลวที่ใช้นี้เรียกว่า “freezant” อาจทำโดยการฉีดพ่นบนผิวอาหารหรือจุ่มและพ่นในขณะเดียวกัน freezant ที่นิยมได้แก่ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ แคลเซียม-คลอไรด์ โพรพิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล เป็นต้น

8.4 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค (cryogenic freezing) เป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูงสุดจัดอยู่ในขั้น ultra rapid freezing rate ทำได้โดยการนำเอาสิ่งที่ต้องการแช่เยือกแข็ง ซึ่งอาจไม่มีการห่อหุ้มหรือห่อหุ้มด้วยวัสดุบรรจุ จุ่มผลิตภัณฑ์ลงใน cryogen ที่เย็นจัดกำลังมีการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งการดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์โดยการแช่เยือกแข็งวิธีนี้จะเป็นไปในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของ cryogen ส่วน cryogen ที่นิยมได้แก่

- ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen - LN)
- คาร์บอนไดออกไซด์เหลว (liquid carbondioxide – LCD)
- คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (solid carbondioxide – SCD หรือ dry ice)

หลักการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค คือ อาหารจะถูกทำให้เย็นและเกิด nucleation ขึ้น ผลึกน้ำแข็งที่เกิดจะมีขนาดเล็ก เพราะของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการโตของผลึกเกิดเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกจำนวนมากจะทำให้อาหารสีอ่อนลงอย่างรวดเร็ว เพราะสายตาจะเห็นแสงทุกความยาวคลื่นแล้วสะท้อนกลับไปจากหลาย ๆ พื้นผิว แทนที่สีแค่เพียงบางสีของอาหารจะ transmitted โดยผลึกใหญ่ๆ เพียง 2 – 3 อัน (Brown, 1976)

Mohr (1971) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างซึ่งเป็นผลมาจากการแช่เยือกแข็ง กล่าวว่าผลของการแช่เยือกแข็งจะมีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของผลไม้มากกว่าในผัก เนื่องจากโครงสร้างผลไม้เป็นโครงสร้างที่มีความดันเต่ง (turgor) เมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของไหลภายในเซลล์แต่ละเซลล์จะไหลออกมา ประกอบกับผลไม้มีผนังที่บางซึ่งสามารถถูกทำลายได้ง่าย แต่การใช้ fluidized bed, cryogenic หรือ R-12 freezer ช่วยทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำและมีการแตกของผนังเซลล์น้อยลง ดังนั้นพบว่าเนื้อสัมผัส (texture) เสียหายน้อยลง (Brown, 1976)

9. การเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็ง

การเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็งในสภาวะแช่เยือกแข็งนับเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ การเก็บรักษาที่ดีที่สุดจะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายจากการแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการละลายในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่งจะไม่สามารถทำให้กลับมาเหมือนเดิม (Brown, 1976) แม้ว่าในสภาวะนี้ผลไม้จะเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ทั้งทางเคมี หรือฟิสิกส์ แต่ไม่เกิดจากจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์จะเหลือน้อยมากระหว่างการเก็บในสภาวะแช่เยือกแข็ง

โดยทั่วไปแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า –10 °C เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า water activity (Aw) ต่ำลง สำหรับยีสต์ไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า –12 °C ราไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า –18 °C ดังนั้นโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งจึงมักเก็บที่อุณหภูมิ –18 °C หรือต่ำกว่า และต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดอายุการเก็บ มิฉะนั้นผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีน ไขมัน การเปลี่ยนสี กลิ่นของอาหาร เป็นต้น (Skrede, 1996)

10. การละลายน้ำแข็ง

การละลายน้ำแข็งนับว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีผลกระทบอย่างมากต่อเนื้อสัมผัสของอาหารแช่เยือกแข็ง และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การละลายผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เช่น มะเขือเทศ สามารถส่งผลต่อเนื้อสัมผัสให้นิ่มลง เนื่องมาจากโครงสร้างเนื้อเยื่อถูกทำลาย และมีการสูญเสียความชื้นระหว่างการละลาย น้ำ และเอนไซม์จะถูกปลดปล่อยผ่านผนังเซลล์ที่แตกเสียหาย เอนไซม์นี้สามารถกลับมามี activity ได้อีกครั้ง (Jones และ Beckett, 1995)

วิธีละลายน้ำแข็งมี 2 หลักการคือ

10.1 การนำความร้อนจากผิวไปสู่ภายในผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์สัมผัสกับแหล่งความร้อน เช่น การใช้อากาศร้อน การใช้น้ำ ใช้แผ่นโลหะร้อน

10.2 การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ โดยใช้การเกิดความ

ต้านทานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ไดอิเลคตริกหรือไมโครเวฟ แต่การละลายน้ำแข็งด้วยการให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์เป็นที่นิยมมากกว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่เยือกแข็งส่วนใหญ่จะนิยมละลายน้ำแข็งโดยใช้การละลายด้วยน้ำหรืออากาศ และโดยทั่วไปในกรณีของผลไม้ซึ่งมีแนวโน้มนิ่มง่าย บางครั้งในการกินมักจะละลายในลักษณะไม่ละลายน้ำแข็งจนหมด (semi–thawed state) มีน้ำแข็งอยู่บ้างจะช่วยชดเชยการสูญเสียเนื้อสัมผัสเนื่องมาจากการถูกทำลายของเซลล์ (Jones และ Beckett, 1995)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารแช่เยือกแข็ง

2.3.1 พันธุ์และระดับความแก่อ่อน

พันธุ์นับว่ามีความสำคัญต่อคุณภาพอาหารแช่เยือกแข็ง เนื่องจากแต่ละพันธุ์จะให้ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน เช่น ด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความหวาน ฯลฯ และผลของพันธุ์จะมีอิทธิพลต่อความชอบของผู้บริโภคในด้านต่างๆ ได้ จากการศึกษาของ Bartolome, Ruperez และ Fuster (1996) ซึ่งศึกษาการแช่เยือกแข็งสับปะรด 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ Smooth Cayenne และ Red Spanish พบว่าทั้งสองพันธุ์เหมาะต่อการแช่เยือกแข็ง แต่พันธุ์ Red Spanish สามารถเกิด off – flavor เมื่อนำไปแช่เยือกแข็ง ในด้านระดับความแก่อ่อนสามารถควบคุมได้จากสีผิว ความอ้วนของตา และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total solubte solid; TSS) นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุม eating quality ของสับปะรด ได้แก่ TSS, ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ $^{\circ}$Brix / acid ratio pH สี (Smith, 1988) Skrede (1996) กล่าวว่าผลไม้ที่ไม่สุกจะมี drip loss ต่ำกว่าผลไม้ที่สุกเมื่อนำไปแช่เยือกแข็ง ระดับความแก่อ่อนนอกจากจะมีผลต่อค่า drip loss แล้วยังมีผลต่อสีที่ต่างกัน Wu (2000) กล่าวว่า sugar apple ที่มีระดับความแก่อ่อนต่างกันจะทำให้มีค่า Hunter value ที่ต่างกัน โดยค่าความสว่าง (L) และสีเขียว (–a) ลดลงขณะที่สีเหลือง (+b) มีค่าสูงขึ้นเมื่อผลแก่มากขึ้น นอกจากนี้ช่วงเวลารอก่อนการแช่เยือกแข็งนับว่ามีผลต่อคุณภาพผลไม้แช่เยือกแข็งเช่นกัน พบว่าผลไม้ที่แช่เยือกแข็งทันทีจะมีเนื้อสัมผัส สี และกลิ่นรสเข้มมากกว่าผลไม้ที่มีช่วงเวลาการรอก่อนแช่เยือกแข็งนาน ผลไม้ที่เก็บมาทันทีจะมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้สูง pH ต่ำ มีปริมาณวิตามินซีสูง ปริมาณแอนโธไซยานินสูง และมี drain weight สูงกว่าผลไม้ที่รอการแปรรูป 5 – 6 ชั่วโมง (Skrede, 1996)

2.3.2 การเตรียมผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง

2.3.2.1 การปอก การหั่นชิ้น และการตัด

การตัดแต่งผลไม้ที่มีเมล็ดจะต้องเอาเมล็ดออกก่อน เนื่องจากเมล็ดมีอิทธิพลต่อรูปร่างของผลไม้ในระหว่างการแช่เยือกแข็งโดยปริมาณน้ำผลไม้ของพวกที่ยังไม่แกะเมล็ดออกจะมีมากกว่า (Skrede, 1996) และการหั่นชิ้นผลไม้ก่อนนำไปแช่ในสารละลายเพื่อจะนำไปแช่เยือกแข็งจะทำให้ผลไม้มีสีที่ดีและมีเนื้อสัมผัสแน่นกว่าการใช้ผลไม้ทั้งผล สอดคล้องกับ Morris, Main และ Sistrunk (1991) ที่กล่าวว่าผลไม้หั่นชิ้นนี้จะแข็งมากกว่าผลไม้ทั้งผล เนื่องมาจากสารละลายแคลเซียมและเพกตินจะแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างมากกว่า ซึ่งชี้ให้เห็นได้จากค่า shear force ที่สูงขึ้น นอกจากนี้การหั่นชิ้นเบอรี่ก่อนแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หรือ low methoxyl pectin; LMP มีผลให้เนื้อสัมผัสแน่นกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เบอรี่ทั้งผล และเมื่อใช้สารละลายผลเบอรี่ที่หั่นชิ้นจะมีสีแดงและสีเหลืองมากกว่าเบอรี่ทั้งผล

2.3.2.2 การลวก

เอนไซม์นับเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลไม้แช่เยือกแข็ง เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) เป็นเอนไซม์ในผลไม้ที่สามารถยับยั้งโดยการลวกที่เหมาะสม แต่ปกติในผลไม้ทั่วไปจะไม่นิยมลวกเนื่องจากจะทำให้เกิด cooked flavor และทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มลง โดยผลไม้ที่ลวกก่อนการแช่เยือกแข็งจะสูญเสียสารประกอบที่ละลายน้ำได้ (soluble substance) เกลือแร่ และวิตามินที่ละลายน้ำได้ การลวกสามารถนำมาใช้กับผลไม้ได้บางชนิด เช่น กล้วย เพราะทำให้กล้วยมีสีสด เนื้อสัมผัสแข็ง และมีกลิ่นรสที่ดี ไม่เกิดรอยดำแม้ว่าจะนำมาละลายสัมผัสอากาศเป็นเวลานาน นอกจากนี้การลวกยังมีประโยชน์ในแง่การกำจัดอากาศออกจากเนื้อเยื่อ และลดการเกิดปฏิกิริยา oxidation ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ขณะเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็ง และการละลายของผลิตภัณฑ์ (Skrede, 1996)

2.3.2.3 การแช่สารละลายต่างๆ

<u>น้ำตาล น้ำเชื่อม</u>

การใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมในผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็งจะมีผลต่อการกำจัด

ออกซิเจนในผลไม้ ช่วยรักษาสีและลักษณะปรากฏ ปกติผลไม้แช่เยือกแข็งจะถูกบรรจุในน้ำตาลที่ความเข้มข้นมากกว่า 20% โดยใช้อัตราส่วนผลไม้ 4 ส่วนต่อน้ำตาล 1 ส่วน หรือใช้ผลไม้ 3 ส่วนต่อน้ำเชื่อม 1 ส่วน (Talburt, 1955) อย่างไรก็ตามการใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อม (มีน้ำตาล 30 – 60%) จะรักษาคุณภาพผลไม้ได้อย่างสมบูรณ์ โดยมีหน้าที่สำคัญคือ จะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ทำให้ความสามารถของเอนไซม์ช้าลงและป้องกันอากาศสัมผัสกับผลไม้ ปกติจะนิยมใช้น้ำเชื่อมมากกว่าน้ำตาล เพราะสามารถจะรักษาเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้ดี ป้องกันอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากการใช้น้ำตาลในรูปของแข็งจะสามารถแพร่เข้าภายในเนื้อเยื่อผลไม้ได้ช้า เนื้อเยื่อภายในถูกทำลายได้เนื่องจากน้ำตาลเข้าไม่ถึง ขณะที่การกระจายตัวในเนื้อเยื่อผลไม้ในรูปสารละลายน้ำเชื่อมมีมากกว่า นอกจากนี้น้ำเชื่อมสามารถดึงของเหลวในผลไม้ออกมาจากเซลล์โดยอาศัยหลักการออสโมซิส ซึ่งเมื่อเซลล์มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงจะทำให้จุดเยือกแข็งลดลง เกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์น้อยจึงเป็นสาเหตุของการเสียโครงสร้างน้อยกว่า แต่การใช้น้ำเชื่อมสามารถทำให้เนื้อเยื่อหดตัวได้เนื่องมาจากการสูญเสียน้ำในกระบวนการออสโมซิสเช่นกัน ซึ่งการกำจัดน้ำออกจากผลไม้บางส่วนก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยการทำออสโมซิส เรียกว่า "osmo–dehydrofreezing" (Skred, 1996) สงวนศรี เจริญเหรียญ และวิชาญ วงศ์สิทธิ์ (2537) ศึกษาผลการดึงน้ำบางส่วนออกก่อนการแช่เยือกแข็งสับปะรด พบว่าการดึงน้ำออกโดยการออสโมซิสด้วยการแช่ชิ้นสับปะรดในสารละลายน้ำตาลซูโครส 50 °Brix น้ำในเนื้อเยื่อสับปะรดจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ไปสู่สารละลายภายนอก และขณะเดียวกันมีการแพร่ของตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกเข้าในชิ้นสับปะรด โดยอัตราเร็วของการสูญเสียน้ำจะสูงในช่วง 1–2 ชั่วโมงแรก และสูญเสียน้ำไปประมาณ 13 – 17% โดยน้ำหนัก ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในเนื้อสับปะรดเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งน้อยกว่าสับปะรดที่ไม่ได้ผ่านการดึงน้ำออกมีผลต่อเนื่องทำให้เนื้อเยื่อฉีกขาดเนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งลดลง (Fennema, 1973) นอกจากนี้น้ำตาลบางส่วนที่ซึมเข้าไปในเนื้อสับปะรดมีผลทำให้เนื้อสัมผัสมีความแน่นมากขึ้น (LeMaguer, 1988) และมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างการละลายลดลงด้วย จากการใช้ osmotic dehydration เป็น pre–freezing treatment เพื่อลดการเสียโครงสร้างและการเกิด drip loss (Forni และคณะ, 1990) ยังพบว่าผลไม้ที่ทำ osmo – dehydrofreezing จะลดเวลาการละลายและมี drip loss น้อยกว่าผลไม้ที่แช่เยือกแข็งทั่วไป (Skred, 1996) นอกจากนี้การใช้น้ำตาลกับผลไม้จะช่วยในเรื่องสี เช่น การเติมน้ำตาลในสตรอเบอรี่แช่เยือกแข็งสามารถป้องกันการเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินได้ เนื่องจากน้ำตาลจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสลายของรงควัตถุ เช่น เอนไซม์ เบตากลูโคซิเดส (*B*–glucosidase) และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) นอกจากนี้น้ำตาลยังเป็น stearic interference ในปฏิกิริยา condensation เช่น

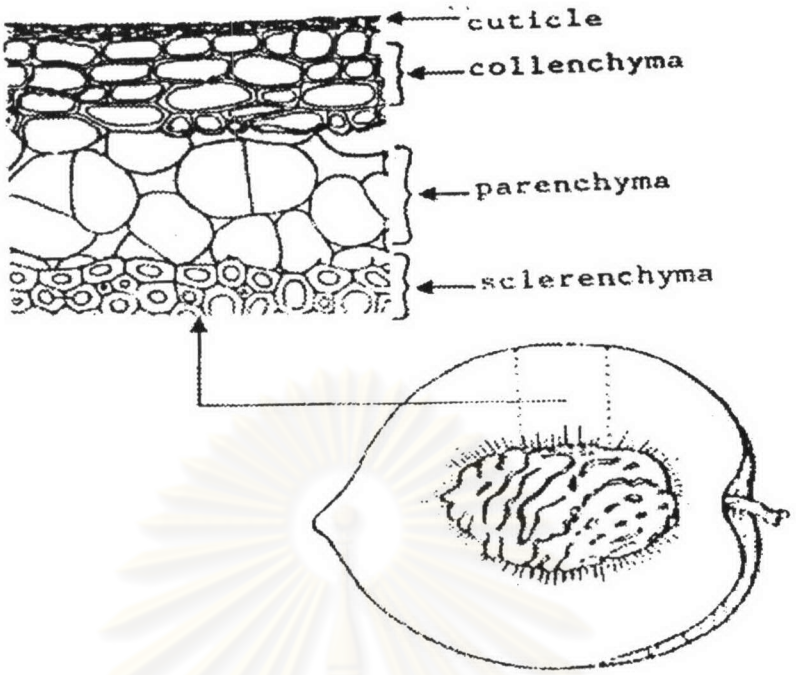
ปฏิกิริยา anthocyanin phenolic polymerization และปฏิกิริยาระหว่างแอนโธไซยานินกับกรดแอสคอร์บิก ดังนั้นน้ำตาลจึงช่วยป้องกันการเสื่อมสลายของรงควัตถุแอนโธไซยานิน ทั้งในระหว่างการแช่เยือกแข็งและการละลายได้ (Wrolstad และคณะ, 1990) และยังมีการศึกษาการใช้สารอื่นนอกจากน้ำตาลในการทำ osmodehydrofreezing ดังงานของ Tregunno และ Goff (1996) พบว่าแอปเปิ้ลที่ทำ osmodehydrofreezing โดยใช้ corn syrup solid (CSS) เนื้อสัมผัสจะแข็งน้อยกว่าที่ใช้ซูโครส หรือ ซอร์บิทอล (sorbitol) นอกจากนี้มีการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำตาลต่อคุณภาพของผลไม้แช่เยือกแข็ง Robbers, Singh และ Cunha (1997) พบว่าการใช้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 72 °Brix จะมีการเคลื่อนที่ของน้ำเร็วกว่าเมื่อใช้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 60 °Brix นั่นคือ เมื่อความเข้มข้นระหว่างผลไม้และสารละลายมีความแตกต่างกันมากจะมีการสูญเสียน้ำออกไปได้เร็วยิ่งขึ้น และที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสสูงไม่จำเป็นที่จะให้ผลในแง่การเพิ่มของน้ำตาลในผลไม้สูงขึ้น แต่ระยะเวลาการแช่ในสารละลาย osmotic มากกว่าจะทำให้มีน้ำตาลในเนื้อเยื่อสูงขึ้นได้ โดยการเคลื่อนที่ของน้ำออกมานอกเซลล์ผลไม้จะมีมากกว่าการที่น้ำตาลจะแทรกเข้าในผลไม้

Torreggiani, Forni และ Rizzolo (1987) ได้ทดลองทำ osmotic dehydration กับแอปเปิ้ล ท้อ และ แอพริคอต ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าผลไม้แช่เยือกแข็งที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับ

แต่การใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมอาจมีผลเสีย เช่น เกิดการหดตัวของเซลล์ เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำในระหว่างออสโมซิส หรืออาจสูญเสีย neutral detergent dietary fibre ในระหว่างการแช่น้ำเชื่อมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Cano และ Marin, 1995)

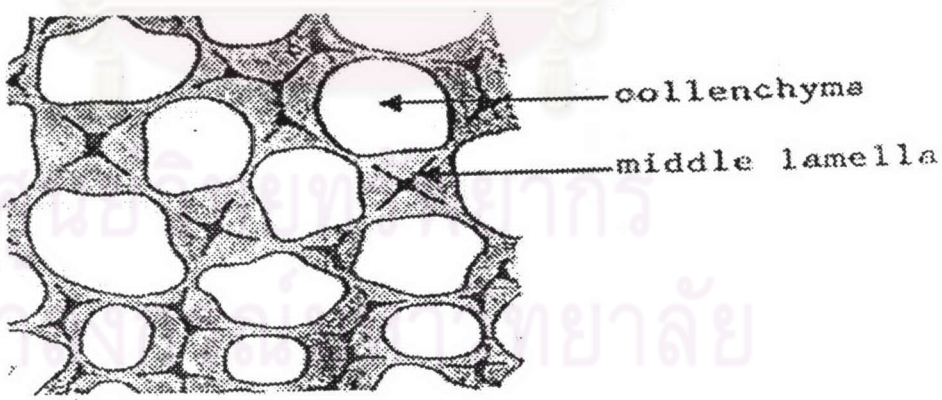
<u>สารประกอบแคลเซียม</u>

ความแน่นของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ สามารถใช้ทำนายอายุของผลิตผลนั้น ๆ ได้ ระหว่างการเจริญเติบโตจนกระทั่งแก่ ผักและผลไม้จะมีการสะสมอาหารโดยอาหารที่สะสมจะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อแตกต่างไปตามชนิดและขนาดของเซลล์ ผักและผลไม้ที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดเล็กเรียงอัดตัวจะมีความแน่นเนื้อสูงกว่าพวกที่มีขนาดเซลล์ใหญ่ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย โครงสร้างของเนื้อเยื่อผักและผลไม้แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย พาเรนไคมา (parenchyma) เป็นเซลล์ที่ยังคงมีชีวิตอยู่ พบในส่วนที่รับประทานได้ มีผนังบาง อ่อนนุ่ม คอลเลนไคมา (collenchyma) เป็นเซลล์อีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเซลล์ค้ำจุน (support) มีผนังหนาซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อ แสดงดังรูปที่ 4 เป็นเซลล์ที่มีชีวิตอยู่เหมือนพาเรนไคมา ส่วนสเคลอเรนไคมา (sclerenchyma) เป็นเซลล์ที่สร้างความแข็งแรงอีกชนิดหนึ่ง ผนังหนาเนื่องจากมีลิกนิน (lignin) (สมโภชน์ น้อยจินดา, 2537)



รูปที่ 3 โครงสร้างเซลล์ภายในผลไม้

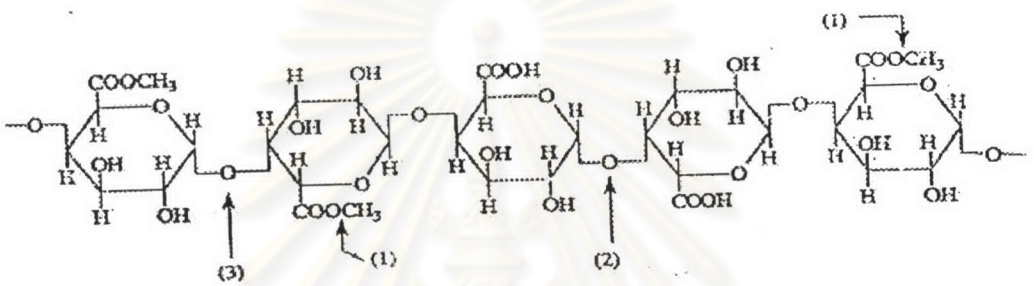
ที่มา : สมโภชน์ (2537)



รูปที่ 4 เซลล์คอลเลนไคมา (ตัวเชื่อมเซลล์ให้ติดกันคือ middle lamella)

ที่มา : สมโภชน์ (2537)

ตามธรรมชาติในผนังเซลล์ของพืชจะพบ calcium โดย calcium นี้จะจับตัวเป็น calcium bridges ระหว่าง galacturonic acid ได้เป็น calcium – pectin complex ที่จับตัวขึ้นเป็นเสมือน intercellular cement ให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อ (Alonso, Rodriguez และ Canet, 1995) ระหว่างการแก่ของผลไม้ โปรโตเพกติน ซึ่งคือสารประกอบเพกตินที่ไม่ละลายน้ำจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์แสดงดังรูปที่ 5 หรือด่างจะทำให้หมู่เมทิลถูกแยกออกไปบางส่วน ได้เป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ เรียกว่า กรดเพกตินิก (pectinic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบเพกตินที่ละลายน้ำได้จึงทำให้เนื้อเยื่อพืชนิ่มลง



รูปที่ 5 โครงสร้างเพกตินและการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์

(1) : pectinesterase enzyme

(2) : polygalacturonase enzyme

(3) : pectinlyase

นอกจากนี้ในระหว่างการแก่ของผลไม้ calcium cation จะย้ายตำแหน่งไปที่ growing zone ซึ่งทำให้ส่วนที่เชื่อมกันเกิดการละลาย และเกิดความเสียหายของ pectic acid ในชั้น middle lamella ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความนิ่มของผลไม้นั่นเอง (Lidster, Tung และ Yada, 1979; Fils – lycano และ Buret, 1990) ดังนั้นจากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงได้นำสารประกอบแคลเซียมมาใช้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อผลไม้ โดย calcium ion จะทำปฏิกิริยากับกลุ่ม carboxylic ในโมเลกุลเพกติน (Fennema, 1985) ได้เป็น calcium pectate ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าแคลเซียมมีประสิทธิภาพในการทำให้ผลไม้แข็งขึ้น โดย Main, Morris และ Wehunt (1986) กล่าวว่า calcium มีประสิทธิภาพต่อผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนดีกว่าในผลไม้แช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เกิดจากความร้อนจะไปตัดพันธะทางเคมีให้เหลือด้านที่จะจับตัวเป็น calcium pectate ในชั้น middle lamella มีสูงขึ้น การเพิ่มของ calcium bridges จะเป็นเหตุในการเพิ่มของ intercellular adhesiveness และทำให้เนื้อเยื่อแข็งแรงขึ้นสามารถป้องกันการสูญเสียความแข็งแรงของเนื้อเยื่อผลไม้เนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งได้ (Alonso และคณะ, 1995)

การเปลี่ยนแปลงที่มากที่สุดของเนื้อสัมผัสของเชอรี่ ที่สังเกตได้หลังการแช่เยือกแข็งคือ ทุกๆ treatment จะมีความแข็งลดลง แต่ความแข็งสามารถเพิ่มขึ้นโดยการแช่เชอรี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำและปานกลางคือ 1 และ 10 mM เนื่องจากสามารถจะป้องกันแคลเซียมบนเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) ได้สมบูรณ์ นอกจากนี้ผลของการแช่เยือกแข็งจะทำให้สูญเสียแรงดันแต่งแบบผันกลับไม่ได้ในทุก treatment ในระหว่างการละลายน้ำแข็งแต่ treatment ที่ใช้แคลเซียมจะป้องกันการนิ่มลงของผลไม้จากการแช่เยือกแข็งและการละลาย นอกจากแคลเซียมจะช่วยในด้านเนื้อสัมผัสแล้วยังสามารถชะลอการสุกงอมของแอปเปิ้ล (Poovaiah และ Shekhar,1978) และยับยั้งการเสียหายของเนื้อเยื่อเนื่องจากเอนไซม์ polygalacturonase (Burns และ Pressey, 1987)

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงผลการใช้สารละลายหลายชนิดร่วมกัน ในการเตรียมวัตถุดิบ โดย Ponting และ Jackson (1972) รายงานว่า apple golden delicious จะมีคุณภาพดีสุดเมื่อ presoak ในสารละลายน้ำตาล 20 – 30% ที่มีแคลเซียมคลอไรด์ 0.2 – 0.4% และมีกรดแอสคอร์บิก 0.2 – 0.1% He และคณะ (1989) กล่าวว่าแคลเซียม ซูโครส และเพกตินสามารถเกิดปฏิกิริยากันแล้วจับเป็นโครงสร้างเจลที่แข็งแรงได้

2.3.3 อัตราเร็วการแช่เยือกแข็ง

อัตราเร็วการแช่เยือกแข็งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก กล่าวคือ การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว (rapid freezing) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ส่งผลให้โครงสร้างเนื้อเยื่อถูกทำลายน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งแบบเร็วสามารถรักษาคุณภาพทางด้านสี และคุณค่าทางอาหารได้ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุด ในทางตรงข้ามการแช่เยือกแข็งแบบช้าจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำลายผนังเซลล์ของพืชส่งผลให้คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสด้อยลง โดยการทำลายโครงสร้างอย่างรุนแรง เนื่องมาจากการโตขึ้นของผลึกน้ำแข็ง และเกิดการสูญเสียเพกตินอย่างมาก จากการศึกษาของ Kidmose และ Martens (1999) พบผลของการแช่เยือกแข็งแบบ blast freezing และ cryogenic มีการสูญเสียเชิงกลจากผลึกน้ำแข็งชัดเจนหลังจากแช่เยือกแข็งแบบ blast freezing ที่อุณหภูมิ –24°C และไครโอจีนิคที่อุณหภูมิ –30°C ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ เซลล์ถูกทำลายและมีการสูญเสียน้ำซึ่งทำให้เกิดการโค้งงอและคลายตัวของผนังเซลล์ มีผลให้ค่า maximum load ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการทำลายเนื้อเยื่อ ขณะที่การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคลดอุณหภูมิตั้งแต่ –30 –50 และ –70°C พบว่าสามารถรักษาธรรมชาติ microstructure พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของค่า maximum load ได้เมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่ำลง

นอกจากนี้ Roy, Taylor และ Kramer (2001) วิจัยพบว่าการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วที่ –4.5 °C/นาที และ –2.4 °C/นาที ผลิตภัณฑ์จะนิ่มน้อยกว่าการใช้อัตราเร็วต่ำกว่าคือ –0.19°C/นาที และ –0.05°C/นาที

2.3.4 การเก็บรักษา

ก่อนแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์อาจถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เพื่อป้องกันการแห้งในระหว่างการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์มักต้องเป็นพวกที่กันความชื้นและไอน้ำจากอาหารไปสู่อากาศที่แห้งของ freezer ได้ กระดาษแวกซ์ และบรรจุภัณฑ์ที่ประกอบด้วย aluminium foil ไม่เหมาะสำหรับการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากมีรูขนาดเล็กซึ่งทำให้ความชื้นและอากาศผ่านเข้าออกสามารถทำให้จุลินทรีย์เข้ามาได้ รวมไปถึงการปิดผนึกควรจะกำจัดอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์ให้มากเท่าที่จะทำได้ (Penfield and Campbell, 1990)

อุณหภูมิ –18 °C เป็นอุณหภูมิปกติที่แนะนำสำหรับการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง การเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บรักษาอาจเป็นปัญหาใหญ่กว่าการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการลวก การแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็ง ความผันแปรของอุณหภูมิขณะเก็บจะมีผลต่อระดับการเสื่อมเสีย เช่น ถ้าอุณหภูมิการเก็บรักษาต่ำกว่า 3 °C การกวัดแกว่งของอุณหภูมิจะหลีกเลี่ยงได้ยาก เช่นการเปิดปิดตู้ freezer ทำให้อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้น ตามด้วยการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่มีอุณหภูมิต่ำลง 2 – 3 °C ก่อนคอมเพรสเซอร์จะหยุด ซึ่งสามารถทำให้เกิด cycling คือการที่ความชื้นระเหิดจากอาหาร และเกิดการรวมตัวเป็นก้อนน้ำแข็งเล็กๆ ในภาชนะบรรจุ แต่ผลของอุณหภูมิที่ไม่คงที่นี้จะไม่สำคัญมากนัก ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า –18 °C และมีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ดี สำหรับการเกิด freezer burn จะสามารถปรากฏขึ้นที่ผิวของอาหารเมื่อใช้บรรจุภัณฑ์ไม่ถูกต้อง และเป็นผลมาจากการระเหิดของน้ำแข็งในระหว่างช่วงอุณหภูมิ recycling นอกจากนี้การสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดการตกผลึกใหม่ (recrystallization) (Fennema, 1973) การตกผลึกใหม่ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกี่ยวกับจำนวน ขนาด รูปร่าง และการเรียงตัวของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นหลังการเกิดผลึกที่สมบูรณ์แล้ว การตกผลึกใหม่ที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นในอาหาร เรียกว่า การตกผลึกใหม่แบบไมเกรทอรี (migratory recrystallization) (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2539) เป็นการเปลี่ยนแปลงจากผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กขยายขนาดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้ขนาดเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นแต่จำนวนผลึกลดลง เนื่องจากมีความแตกต่างของพลังงานผิวหน้าระหว่างผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่มีรัศมีส่วนโค้งน้อยกว่ากับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่มีรัศมีส่วนโค้งมากกว่า ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจึงไม่สามารถจับโมเลกุลที่ผิวหน้าได้ดีเท่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมี

สมบัติการละลายสูงกว่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ หรืออาจเกิดจากการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งที่อยู่ใกล้กัน แม้จะเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิคงที่ เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นเซลล์จึงเสียหายได้มากขึ้น (Mallet, 1993) ดังนั้นอายุการเก็บของอาหารแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพดีตลอดอายุการเก็บจึงขึ้นกับชนิดของอาหาร กระบวนการผลิต และอุณหภูมิการเก็บรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย