บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาพันธุ์ขนุนที่เหมาะสมต่อการแช่เยือกแข็ง

ในการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการแช่เยือกแข็งได้ศึกษาจากเอกสารข้อมูลการส่งเสริมของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าขนุนพันธุ์ที่น่าสนใจมีหลายพันธุ์ แต่ได้เลือกมา 3 พันธุ์ โดยพิจารณาในด้านราคาที่ไม่สูง คุณภาพเนื้อยวงดี และมีปลูกจำนวนมากในแถบภาคตะวันตก ได้แก่ พันธุ์เหลืองบางเตย จำปากรอบ และทองสุดใจ จึงได้นำมาศึกษาเปรียบเทียบโดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี คุณภาพของยวงขนุนสด คุณภาพของยวงขนุนหลังละลายน้ำแข็ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนหลังละลายน้ำแข็ง จากการทดสอบทางกายภาพของยวงขนุนสด พันธุ์เหลืองบางเตย จำปากรอบ และทองสุดใจ ดังตารางที่ 4.1 พบอิทธิพลของพันธุ์ต่อปริมาณเนื้อขนุน กล่าวคือขนุนพันธุ์จำปากรอบมีปริมาณเนื้อขนุนสูงที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์(2533) พบว่าขนุนพันธุ์จำปากรอบมีปริมาณเนื้อขนุนสูงเท่ากับ 39.66 % มากกว่าพันธุ์ทองสุดใจ ที่มีเนื้อขนุนเพียง 34.48 % ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะประจำพันธุ์ของขนุนที่มีเนื้อยวงหนาปานกลาง จำนวนยวงมาก ซังน้อย ขณะที่ขนุนพันธุ์เหลืองบางเตย และพันธุ์ทองสุดใจมีเปลือกหนามากกว่า ทำให้ได้ปริมาณเนื้อขนุนต่ำกว่า เมื่อพิจารณาขนาดของยวงพบว่าขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยมีขนาดใหญ่ที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากพันธุ์จำปากรอบ และพันธุ์ทองสุดใจ เมื่อเปรียบเทียบความหนาของเนื้อ พบว่ามีขนาดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้พบว่าขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยมีค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสสูงที่สุด รองลงมาเป็นพันธุ์ทองสุดใจ และพันธุ์จำปากรอบ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์ขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยมีความแข็งแรง และมีแรงดันเต่งของเซลล์สูงกว่าพันธุ์อื่น ซึ่ง Alonso, Canet และ Rodriguez (1994) รายงานว่าค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส คือ การแปลผลของการตอบสนองต่อแรงกลซึ่งเป็นการชี้ถึงโครงสร้างของผลไม้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าถ้าค่าที่วัดได้มีค่ามากแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแน่นของเนื้อสัมผัสสูง

จากการตรวจสอบทางเคมี พบว่าขนุนพันธุ์จำปากรอบมีความชื้นต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในโครงสร้างของเซลล์ขนุนมีน้ำน้อย มีแรงดันเต่งภายในเซลล์ต่ำ เนื้อขนุนจึงแห้งกว่าพันธุ์อื่นๆ เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พันธุ์เหลืองบางเตย จำปากรอบ และทองสุดใจ มีค่าอยู่ในช่วง 22 – 29, 22 – 27, 22 – 26 °Brix ตามลำดับ ด้านปริมาณกรดทั้งหมด

พบว่าพันธุ์จำปากรอบมีปริมาณกรดสูงที่สุดแตกต่างจากพันธุ์เหลืองบางเตย และพันธุ์ทองสุดใจ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นแสดงว่าขนุนพันธุ์จำปากรอบมีรสเปรี้ยวมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ขณะที่เมื่อวัด pH ทุกพันธุ์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะคุณภาพของยวงขนุนหลังละลายน้ำแข็ง ดังตารางที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์ freezing loss และเปอร์เซ็นต์ thawing loss ของขนุนพันธุ์จำปากรอบมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างเซลล์ของขนุนพันธุ์ดังกล่าวมีความทนทานต่อการฉีกขาดเนื่องมาจากการเกิดผลึกน้ำแข็งต่ำ ส่งผลให้เนื้อเยื่อสูญเสียน้ำมาก แรงดันเต่งภายในเนื้อเยื่อลดลงทำให้แรงต้านทานต่อการตัดขาดต่ำลงเช่นกัน จากเหตุผลที่กล่าวมาทำให้เห็นได้ว่าค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสของขนุนพันธุ์จำปากรอบหลังละลายน้ำแข็งต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาสีขนุน พบว่าการแช่เยือกแข็งทำให้ขนุนมีรอยช้ำมากขึ้น สัมพันธ์กับค่าความสว่าง (L) มีค่าลดลง และพบว่าพันธุ์ทองสุดใจมีค่าความสว่างหลังละลายน้ำแข็งสูงที่สุด ส่วนสีแดง (a) และสีเหลือง (b) พันธุ์จำปากรอบมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 พบอิทธิพลของพันธุ์ต่อคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสียวง กลิ่นขนุน ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยพันธุ์เหลืองบางเตยมีคะแนนสียวง ความหวาน และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ขณะที่พันธุ์จำปากรอบมีคะแนนกลิ่นขนุนสูงที่สุด และพันธุ์ทองสุดใจแม้ว่าจะมีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แต่เนื่องจากได้คะแนนกลิ่นและความหวานต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ จึงมีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุดด้วย จากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้เลือกขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยสำหรับนำไปทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากเป็นขนุนที่มีความแน่นของเนื้อสัมผัสก่อนแช่เยือกแข็ง และหลังละลายน้ำแข็งสูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์ freezing loss และเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำที่สุด

5.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมวัตถุดิบก่อนแช่เยือกแข็ง

จากผลการศึกษาในข้อ 5.1 พบว่าขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมที่จะนำไปแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงนำขนุนพันธุ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของขนุนสด ดังตารางที่ 4.4 พบว่ามีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ 75.74, 2.67, 1.24, 1.19 และ 0.95% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีคาร์โบไฮเดรต 18.21% น้ำตาลรีดิวซ์ 3.65 g/100 กรัม ซึ่งแตกต่างจากคุณค่าทางอาหารของกองโภชนา กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขที่วิเคราะห์ขนุนว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยหยาบ 72.9, 1.7, 0.3, 23.7 และ 0.9 % ทั้งนี้เนื่องจากขนุนที่ใช้วิเคราะห์อาจเป็นพันธุ์ต่างกัน แต่ยังถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน

การศึกษาขั้นนี้เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อรักษาคุณภาพด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของขนุนให้ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุด โดยเลือกใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 – 2% w/v สารละลายซูโครส 30 – 50°Brix และใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแล้วแช่สารละลายซูโครส พิจารณาคุณภาพของขนุนแช่เยือกแข็งจากเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าสี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4.5 – 4.20

5.2.1 สมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

จากตารางที่ 4.5 พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อเปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) สีเหลือง (b) ของขนุนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss และสีเขียว (–a) ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย และค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย และค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งเพิ่มสูงขึ้น ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากปกติการเกาะตัวของเซลล์นั้นขึ้นกับปริมาณของสารประกอบเพกติน (ดนัย บุญยเกียรติ และ นิธิยา รัตนปานนท์, 2535) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ตำแหน่งตรงกลางของ middle lamella ระหว่าง primary cell wall ที่ติดกัน และมีพันธะที่ไม่แข็งแรงทำให้มีอิสระที่จะเคลื่อนย้ายจากผนังเซลล์ (Robbers และคณะ, 1997) เพกตินสามารถจับกับน้ำโดยอาศัยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นเมื่อแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้ calcium ion เข้าไปจับกับ pectic acid ในผนังเซลล์แล้วจับตัวเป็น calcium pectate (Poovaiah, 1986) ซึ่งทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ค่า shear force หลังแช่สารละลายมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำขนุนไปแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็งจะทำให้ชั้น middle lamella เกิดการแตกออก ทำให้ผนังเซลล์เกิดการแยกตัว น้ำที่จับกับเพกตินในชั้น middle lamella ถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น (Sefa-Dedeh และ Stanley, 1979) และเนื่องจาก calcium ion จะเกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslinkage) ระหว่างโมเลกุลเพกตินกับเซลล์ที่เกิดการแตก ดังนั้นเมื่อมีความเข้มข้นของ calcium ion สูง โอกาสเกิด crosslinkage ระหว่าง calcium ion กับเพกติน และเซลล์ที่เกิดการแตกมีมากขึ้น น้ำจึงถูกขับ

ออกมามาก ทำให้ เปอร์เซ็นต์ thawing loss สูงขึ้น และเมื่อเนื้อเยื่อสูญเสียน้ำมากขึ้น โครงสร้างภายในของขนุนเกิดการอัดตัวแน่นขึ้น เมื่อวัดค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งโดยการตัดขวางเนื้อเยื่อขนุนจึงใช้แรงตัดมาก แสดงว่าขนุนมีความเหนียว ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสีจากค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ขนุนมีค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) สูงกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ทั้งนี้เนื่องมาจากขนุนที่ไม่แช่สารละลายเมื่อทิ้งระยะเวลาเพื่อรอการแช่เยือกแข็งทำให้ขนุนเกิดรอยช้ำ และฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีรอยช้ำเนื่องจากแรงกระทำทางกล เช่น การแกะยวงขนุนออกจากผลหรือการแกะเมล็ด นอกจากนี้ขนุนยังเป็นผลไม้ที่มีเนื้อเยื่อบอบบาง เกิดรอยช้ำได้ง่าย ดังนั้นเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งแล้วละลายน้ำแข็งทำให้ค่าความสว่าง (L) ของขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีค่าต่ำ ทำให้เห็นเป็นรอยช้ำมาก ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Main และคณะ (1986) ที่กล่าวว่าคุณภาพด้านสีของผลไม้แช่เยือกแข็งจะมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อย แต่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าสตรอเบอรี่ที่นำไปแช่ในสารละลาย Calcium lactate 1 – 2% จะมีค่าความสว่าง (L) สูงกว่าตัวอย่างควบคุม

เมื่อพิจารณาสีเหลือง (b) พบว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีสีเหลือง (b) ต่ำกว่าขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทุกๆ ระดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรงควัตถุของขนุนเป็นสารประกอบที่ละลายในไขมันได้ ซึ่งมีแนวโน้มสูญเสียพร้อมกับน้ำยาก แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการแปรรูป เช่น การให้ความร้อนโดยเกิดปฏิกิริยา cis – trans isomerization, epoxidation และ oxidation (Marin, Cano และ Fuster , 1986) ซึ่งขนุนที่ไม่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์อาจเกิดปฏิกิริยา oxidation ของสีก่อนนำไปแช่เยือกแข็งได้เร็วกว่า นอกจากนี้การอัดตัวของเซลล์ขนุนหลังละลายน้ำแข็งที่มีมากขึ้นทำให้รงควัตถุชิดกันได้มากขึ้นจึงมีผลให้สีเหลือง (b) ได้ค่าสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อละลายน้ำแข็งสีเหลือง (b) ของขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลายจึงมีค่าต่ำกว่า

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่แสดงในตารางที่ 4.6 พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคะแนนสีเหลือง กลิ่นขนุน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ การแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ขนุนมีคะแนนสีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ขนุนจะไม่ช้ำมาก ทำให้คะแนนการยอมรับมีค่าสูง ด้านกลิ่นขนุนพบว่าการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้กลิ่นขนุนลดลง อาจเนื่องจากกลิ่นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้าไปรบกวนและบดบังการปลดปล่อยกลิ่นขนุนตามธรรมชาติ นอกจากนี้กลิ่นของขนุนบางส่วนอาจสูญเสียไปกับน้ำใน

ระหว่างการละลายได้ ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้คะแนนการยอมรับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี แข็งแน่นมากขึ้น และพบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1% และ 2% w/v มีคะแนนการยอมรับสูงที่สุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อาจเนื่องมาจาก calcium ion ทำปฏิกิริยากับหมู่ carboxylic ของโมเลกุลเพกตินในระดับที่แข็งแรงเพียงพอ ผู้ทดสอบจึงได้ให้คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสของทั้ง 2 ระดับสูงที่สุด ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากลักษณะเด่นทางด้านสี และเนื้อสัมผัสดังกล่าวจึงส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงขึ้นด้วย

จากผลการทดลองที่กล่าวมาทั้งหมดสรุปได้ว่า การแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1%w/v เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำ ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส มีคะแนนสีขาว ลักษณะเนื้อสัมผัส และคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

แต่จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในตารางที่ 4.6 ผู้ทดสอบมีข้อเสนอแนะว่าขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% w/v ขึ้นไป มีรสเริ่มขมเฝื่อนลิ้น ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ Perera และ Baldwin (2001) ที่กล่าวว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1% จะก่อให้เกิดกลิ่นรสขม (bitter flavor) ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพิ่มเติมเพื่อขยายช่วงหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์โดยแปรความเข้มข้นเป็น 0.6 0.75 และ 0.9% w/v ได้ผลดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

จากตารางที่ 4.7 เป็นการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์แปรความเข้มข้นให้ละเอียดมากขึ้นจากเดิมช่วง 0.5–2% w/v เป็น 0.6 – 0.9%w/v โดยพบอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อเปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) ของขนุนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss และสีเขียว (–a) ($p > 0.05$) เช่นเดียวกันกับในช่วง 0.5 – 2 % w/v

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย และค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้นค่าทั้งสามดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นไปตามเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น โดยเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 และ 0.9% w/v พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างจากความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.6 %w/v ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณเพกตินในเซลล์มีอยู่ในระดับหนึ่ง เมื่อจับกับ calcium ion ในระดับสูงๆ สามารถเกิด calcium pectate ได้เต็มที่แล้ว ทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียมีค่าไม่แตกต่างกัน

เปอร์เซ็นต์ thawing loss และค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งที่ความเข้มข้น 0.75% w/v และ 0.9 %w/v จึงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ในส่วนค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.6 – 0.9 %w/v ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงระหว่างความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 – 1 %w/v ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นที่ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.6 – 0.9 %w/v ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีความใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างในเรื่องความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) ได้

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ดังตารางที่ 4.8 พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคะแนนสีเหลือง กลิ่นขนุน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น คะแนนสีเหลือง และลักษณะเนื้อสัมผัส มีคะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้น ในขณะที่กลิ่นขนุนจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่แช่สารละลาย โดยด้านสีเหลือง พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.6 – 0.9% w/v มีคะแนนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างซึ่งมีเพียงเล็กน้อยได้ ด้านกลิ่นขนุนพบว่าการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้งสามความเข้มข้นมีผลต่อกลิ่นขนุนโดยมีคะแนนลดลงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.75 และ 0.9% w/v มีคะแนนการยอมรับสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเกิดการเชื่อมพันธะข้ามของ calcium ion ที่มีในสารละลายกับเพกตินที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อขนุนซึ่งใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สูง ปริมาณ calcium ion สูง การเกิด calcium pectate ในระดับใกล้เคียงกัน ทำให้คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับความชอบโดยรวม พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จาก 0.6 %w/v เป็น 0.75 %w/v มีคะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น แต่คะแนนลดลงเมื่อความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มเป็น 0.9 %w/v เนื่องจากผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีรสเฝื่อน และเป็นเมือกติดที่ลิ้น จึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำ

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำ ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) สูง คะแนนสีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัสสูง และคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

5.2.2 สมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนที่แช่สารละลายซูโครส

จากตารางที่ 4.9 เป็นการศึกษาผลของการแช่ขนุนในสารละลายซูโครส พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายซูโครสต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) สีเขียว (–a) และ สีเหลือง (b) ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเพิ่มสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย และค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจะเพิ่มสูงขึ้น โดยปกติการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อโดยการแช่ในสารละลายที่มีความดันออสโมติกสูง เช่น สารละลายน้ำตาล น้ำในเนื้อเยื่อผลไม้สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ไปสู่สารละลายภายนอก ทำให้น้ำบางส่วนในเนื้อเยื่อถูกกำจัดออกไป และเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งน้อยกว่าในผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการดึงน้ำออก ซึ่งจะมีผลต่อเนื้อเยื่อโดยลดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อและความเสียหายต่างๆ เนื่องมาจากผลึกน้ำแข็ง (Fennema, 1973) และมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างการละลายลดลงด้วย (Forni และคณะ, 1990) แต่จากการทดลอง พบว่าผลการทดลองไม่ได้เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเยื่อหุ้มเซลล์ของขนุนอาจเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้ตัวถูกละลายโมเลกุลขนาดเล็กเท่านั้นผ่านเข้าออกได้ นอกจากนี้เนื้อขนุนมีชั้น cuticle จึงเป็นตัวกั้นทำให้โมเลกุลของน้ำตาลซูโครสผ่านเข้าไปได้น้อย แต่ LeMaguer (1988) กล่าวว่าน้ำตาลบางส่วนที่สามารถซึมเข้าไปในเนื้อผลไม้ มีผลทำให้ความแน่นของเนื้อสัมผัสสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าค่า shear force หลังแช่สารละลายซูโครสมีค่าสูงขึ้น และเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายซูโครสสูงขึ้นน้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อสูญเสียออกไปนอกเซลล์ได้มากขึ้นทำให้เนื้อเยื่อขนุนมี solid เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนแช่สารละลายจุดเยือกแข็งต่ำลงจึงใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานยิ่งขึ้น ขนุนจึงสูญเสียความชื้นมาก ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ freezing loss จึงสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้เมื่อนำขนุนไปแช่เยือกแข็งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้เซลล์แตกน้ำซึ่งอยู่ภายในจึงถูกขับออกมาจากเซลล์ได้มาก ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ thawing loss เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อน้ำสูญเสียออกจากเซลล์มากขึ้นโครงสร้างภายในของขนุนอัดตัวแน่น ดังนั้นเมื่อวัดค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งโดยการตัดขวางเนื้อเยื่อขนุนจึงใช้แรงตัดมากแสดงว่าขนุนเหนียวขึ้น ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจึงมีค่าสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสอยู่ในช่วง 30 – 50 °Brix

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L) สีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) พบว่าเมื่อแช่สารละลายซูโครสความเข้มข้นสูงขึ้น ค่าความสว่างจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงการแช่ขนุนในสารละลายซูโครสจะเกิดการแพร่ของน้ำภายในเซลล์ออกมานอกเซลล์ได้มากขึ้น การแพร่ของน้ำในเซลล์เหล่านี้อาจทำให้เกิดการฉ่ำน้ำมากขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่าง (L) ลดลง ด้านสีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) พบว่าขนุนที่แช่ในสารละลายซูโครสจะมีสีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) สูงกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลายซูโครส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอัดตัวกันแน่นของเซลล์ขนุนเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำ จึงทำให้เมื่อวัดสีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) ค่าสีทั้งสองเข้มสูงมากขึ้น นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายซูโครสสามารถทำหน้าที่เป็น antioxidant ในการป้องกันการเปลี่ยนสีได้ (Talburt,1955) โดยสีเหลืองของขนุนน่าจะเป็นสีที่ได้จาก carotenoid ซึ่งกระบวนการให้ความร้อน การแช่เยือกแข็ง และการละลาย สามารถทำให้เซลล์แตก รงควัตถุเสื่อมสลาย และเกิดการ isomerization ของ carotenoids ได้ (Cano และ Marin, 1995)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสดังตารางที่ 4.10 พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายซูโครสต่อสีเขียว กลิ่นขนุน ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p \leq 0.05$) พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครสสูงขึ้น คะแนนสีเขียวและกลิ่นขนุนมีคะแนนการยอมรับลดลง เนื่องจากเกิดรอยฉ่ำน้ำมากขึ้น และสารละลายซูโครสมีผลทำให้ความแรงของกลิ่นขนุนลดลงจึงทำให้คะแนนลดลง ด้านความหวานเมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้นคะแนนความหวานจะสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้นกลับมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นสูงจะมีการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อได้มากเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง เซลล์เนื้อเยื่ออาจเกิดการแตกเสียหาย ทำให้น้ำถูกขับออกมานอกเซลล์ได้มากขึ้น โครงสร้างขนุนอัดตัวกันแน่น ทำให้การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการกัดขาดยากขึ้น จึงทำให้คะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง ด้านความชอบโดยรวมเป็นผลโดยตรงมาจากคะแนนด้าน สีเขียว กลิ่นขนุน และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสสูงขึ้นคะแนนความชอบโดยรวมมีค่าลดลง

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ทดลองเปรียบเทียบขั้นต่อไป เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss ต่ำ เปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำที่สุด ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งสูง ค่าความสว่าง (L) สีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) สูงที่สุด นอกจากนี้มีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเขียว กลิ่นขนุน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

5.2.3 สมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แล้วแช่สารละลายซูโครส

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5 1 และ 2 %w/v แช่ต่อในสารละลายซูโครส 30 40 และ 50 °Brix แล้วเปรียบเทียบเพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมขนุนก่อนการแช่เยือกแข็ง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์แล้วแช่สารละลายซูโครส จากตาราง 4.11 4.13 และ 4.15 พบว่ามีทิศทางไปในทางเดียวกันคือ พบอิทธิพลของการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยใช้สารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นสูงขึ้นต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss และค่า shear force หลังแช่สารละลายมีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ขณะที่ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งมีค่าลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้น สำหรับในด้านความสว่าง (L) การแช่สารละลายทุกความเข้มข้นจะมีค่าสูงกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ขณะที่สีเหลือง (b) จะมีค่าต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ freezing loss ที่ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เท่ากัน แต่ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ freezing loss จะเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีการจับกันระหว่าง calcium ion จากสารละลายกับหมู่ carboxylic ในโมเลกุลเพกติน (Fennema, 1985) ซึ่งอยู่ในชั้น middle lamella ของเซลล์เกิดเป็น calcium pectate โครงสร้างเซลล์จึงมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เมื่อนำไปแช่ต่อในสารละลายซูโครส สารละลายซูโครสนี้จะเข้าไปแทรกระหว่างโครงสร้างตาข่ายของ calcium bridge และทำให้ความแข็งแรงของ calcium bridge ลดลง และมีรายงานว่า gel strength ของ low methoxy pectin–calcium gel เกือบจะเป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อมีน้ำตาลในโมเลกุล (Kim, Soslulski และ Campbell, 1978) ดังนั้นเมื่อวัดค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจึงทำให้ค่าที่ได้ต่ำลง

นอกจากนี้สารละลายซูโครสจะมีผลต่อการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อขนุนได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นสารละลายสูงขึ้นทำให้ solid ในเนื้อเยื่อมีมากขึ้นเมื่อเทียบกับขนุนก่อนแช่สารละลายซูโครสจึงมีผลต่อจุดเยือกแข็งต่ำลง ประกอบกับสารละลายซูโครสเป็นฉนวนกันความเย็นให้เข้าสู่ใจกลางชิ้นขนุนได้ช้าลงจึงต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อทำให้ขนุนแข็งตัว ดังนั้นจึงทำให้ขนุนสูญเสียความชื้นเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งไปมาก ผิวขนุนจะแห้ง และส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ freezing loss สูงขึ้นด้วยเมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่แช่สารละลาย จากรายงานของ Jones และ Boulter (1983) แคลเซียม ซูโครส และเพกติน สามารถเกิดปฏิกิริยาซึ่งกันแล้วจับตัวเป็นโครงสร้าง

เจลที่แข็งแรง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่า ค่า shear force หลังแช่สารละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่แช่สารละลาย แต่เมื่อนำขนุนแช่เยือกแข็งไปละลายน้ำแข็งผลึกน้ำแข็งดังกล่าวจะทำให้เซลล์ซึ่งมีโครงสร้างแข็งแรงเกิดการเปราะแตกได้ง่าย

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายมีค่าความสว่าง (L) สูงกว่า ขณะที่สีเหลือง (b) มีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ทั้งนี้เนื่องมาจากในการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์นั้นจะช่วยทำให้เนื้อเยื่อและโครงสร้างแข็งแรงขึ้น เมื่อนำไปแช่สารละลายซูโครส การดึงน้ำออกและการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายในเซลล์เกิดได้ยากขึ้นจึงทำให้เกิดรอยช้ำน้อย นอกจากนี้การแช่สารละลายสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิดเช่น pectinmethylesterase ซึ่งจะย่อยเพกตินที่ตำแหน่งของ esterified carboxyl group ได้เมทิลแอลกอฮอล์ และทำให้เพกตินถูกเปลี่ยนเป็น low methoxyl pectin และกรดเพกติกซึ่งเป็นสารประกอบเพกตินที่ละลายน้ำได้ทำให้โครงสร้างเนื้อเยื่อขนุนอ่อนลงเกิดรอยช้ำง่ายขึ้น และส่งผลให้ค่าความสว่าง (L) ต่ำลงได้ และเมื่อพิจารณาสีเหลือง (b) พบว่าขนุนที่แช่สารละลายมีสีเหลือง(b) ต่ำกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลายทั้งนี้เนื่องจากการที่สารละลายซูโครสแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโครงสร้างตาข่ายของเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการอัดตัวกันน้อยทำให้เมื่อวัดสีเหลือง (b) จึงมีค่าต่ำกว่า และจากผลการทดลองพบว่าการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 1 และ 2% w/v มีความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่เหมาะสมที่ความเข้มข้นเดียวกันคือ 30°Brix ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss และเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำ แต่มีค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งสูงที่สุด

ผลการประเมินคุณภาพประสาทสัมผัสของขนุนแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เท่ากันแล้วแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นต่างกัน ดังตารางที่ 4.12 4.14 และ 4.16 พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือพบอิทธิพลการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเท่ากัน โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่สูงขึ้นต่อคะแนนสีเหลือง กลิ่นขนุน ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เท่ากัน ที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 30 °Brix จะมีคะแนนการยอมรับด้าน สีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ความเข้มข้นสารละลายซูโครสสูงขึ้นจะมีรอยช้ำมากขึ้น เนื่องจากการแพร่ของน้ำและสารละลายต่างๆ ทำให้คะแนนสีเหลืองต่ำลง ขณะที่กลิ่นขนุนจะลดลงเมื่อแช่สารละลายซูโครสที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายซูโครสจะลดระดับความแรงของกลิ่นขนุนสดตามธรรมชาติลง ดังนั้นจึงทำให้คะแนนของกลิ่นขนุนเมื่อแช่สารละลายซูโครสเข้มข้นสูงได้คะแนนต่ำลง ด้านความหวานเมื่อแช่สารละลายซูโครสเข้มข้นสูงขึ้นคะแนนจะสูงขึ้นด้วย

ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อแช่สารละลายซูโครสเข้มข้นสูงขึ้นคะแนนจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนุนจะมีการสูญเสียน้ำมาก เนื้อสัมผัสนิ่มลงไม่กรอบแต่เหนียวจึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนเนื้อสัมผัสลดลง ความชอบโดยรวมมีคะแนนลดลงเช่นกัน ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งทางเคมีและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส สรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์แล้วแช่สารละลายซูโครส คือ การแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 1 และ 2%w/v โดยมีความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่เหมาะสมระดับเดียวกันคือ 30 °Brix

จากตาราง 4.17 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลของการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับ 0.5 1 และ 2% w/v แล้วนำขนุนมาแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นเท่ากันคือ 30 °Brix เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปเปรียบเทียบกับสารละลายอื่นๆ ต่อไป พบอิทธิพลของการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นโดยใช้ความเข้มข้นสารละลายซูโครสเท่ากันต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss และค่า shear force หลังแช่สารละลาย มีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ขณะที่ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) มีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงมากขึ้นเนื่องมาจากการเกิด calcium pectate ดังนั้นน้ำจึงถูกกักไว้ในโครงสร้างได้มาก หลังจากนั้นเมื่อนำไปแช่ในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นเท่ากัน ขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจะมีการแพร่ออกมานอกเซลล์ได้ยากกว่า แรงดันเต่งภายในเซลล์มีสูง จึงส่งผลให้ค่า shear force หลังแช่สารละลายมีค่าสูง เมื่อนำขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งมีความเข้มข้นสูงไปแช่เยือกแข็ง น้ำในเนื้อเยื่อซึ่งมีอยู่มากสามารถเกิดการขยายปริมาตรได้ทำให้ต้องใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้น ขนุนดังกล่าวจึงมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss สูง และจากการที่ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานทำให้เซลล์ถูกทำลายได้มาก ดังนั้นน้ำจึงถูกปลดปล่อยออกมามาก เปอร์เซ็นต์ thawing loss จึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงอาจมีผลทำให้ขนุนมีความแข็งเปราะมากขึ้น เมื่อนำไปแช่-เยือกแข็งเนื้อเยื่อถูกทำลายมาก เนื้อขนุนนิ่มเละมากขึ้น ดังนั้นเมื่อวัดค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งโดยการตัดขวางเนื้อเยื่อจึงใช้แรงน้อยลง ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L) พบว่าขนุนที่แช่สารละลายมีค่าความสว่างสูงกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ทั้งนี้เนื่องมาจากขนุนที่ไม่แช่สารละลายปกติจะเกิดรอยช้ำ และฉ่ำน้ำได้ง่ายเนื่องจากการกระทำทางกลและการแช่เยือกแข็ง ประกอบกับขนุนมีเนื้อเยื่อบอบบาง แต่การแช่

ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะช่วยรักษาความแข็งแรงของเซลล์ ดังนั้นเซลล์ถูกทำลายได้ยาก ค่าความสว่าง (L) จึงมีค่าสูงกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลาย

เมื่อพิจารณาสีเหลือง (b) พบว่าเมื่อแช่ขนุนในสารละลายจะมีสีเหลือง (b) ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่สารละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายซูโครสแทรกในโครงสร้างตาข่ายของ calcium bridge จึงทำให้วัดค่าสีเหลือง (b) ได้ต่ำลง และอาจเนื่องจากขนุนที่แช่สารละลายมีเปอร์เซ็นต์ thawing loss สูง รงควัตถุต่างๆ อาจสูญเสียไปกับ drip loss ได้ ดังนั้นจึงทำให้สีเหลือง (b) ในขนุนที่แช่สารละลายมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับที่ Bartolome และคณะ (1996) กล่าวว่าการลดลงของสีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) ของสับปะรดแช่เยือกแข็งเป็นผลมาจาก drip loss นอกจากนี้ Cano and Marin (1992) กล่าวว่ากระบวนการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งทำให้เซลล์แตกเกิดการเสื่อมสลายของรงควัตถุ และการ isomerization ของ carotenoids

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนแช่เยือกแข็งที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 1 และ 2 %w/v แล้วแช่ในสารละลายซูโครส 30 °Brix ดังตารางที่ 4.18 พบอิทธิพลของการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้นเท่ากันต่อคะแนนสีเหลือง ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลาย โดยพบว่าขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 %w/v ได้คะแนนการยอมรับด้านสีเหลืองและลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แต่คะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่าขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากคะแนนของกลิ่นขนุน และคะแนนความหวานต่ำ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30°Brix เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำ ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง และค่าความสว่าง (L) สูง ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีคะแนนสีเหลือง ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

จากตาราง 4.19 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมวัตถุดิบขั้นสุดท้ายก่อนการแช่เยือกแข็งโดยคัดเลือกจากการแช่ขนุนในสารละลายต่างๆ ที่ความเข้มข้นเหมาะสมมาเปรียบเทียบกันอีกครั้ง และเปรียบเทียบกับการไม่แช่สารละลายใดๆ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบอิทธิพลของการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v สารละลายซูโครส 30 °Brix และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix ต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ freezing loss พบว่าขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีเปอร์เซ็นต์ freezing loss ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับขนุนที่แช่ในสารละลายอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix และการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix มีผลต่อการดึงน้ำภายในโครงสร้างเนื้อเยื่อขนุน ทำให้เนื้อเยื่อขนุนมีส่วนของ solid เพิ่มขึ้น ซึ่งการที่มีปริมาณ solid สูงจะส่งผลให้จุดเยือกแข็งของขนุนต่ำลง ประกอบกับสารละลายซูโครสจะเป็นฉนวนกันความเย็นเข้าสู่ใจกลางขนุนช้าลง ดังนั้นการแช่เยือกแข็งจึงต้องใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งมากขึ้น ทำให้ขนุนสูญเสียความชื้นได้มาก เปอร์เซ็นต์ freezing loss ของขนุนทั้งสองกลุ่มจึงมีค่าสูงกว่าขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียม-คลอไรด์ และขนุนที่ไม่แช่สารละลายใดๆ

เมื่อพิจารณาค่า shear force หลังแช่สารละลาย พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายต่างๆ มีค่า shear force หลังแช่สารละลายสูงกว่าขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลาย ยกเว้นการแช่สารละลายซูโครสที่มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v มีค่า shear force สูงที่สุด รองลงมาคือ การแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 %w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix ทั้งนี้เนื่องมาจาก calcium ion จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ calcium bridges ซึ่งจะทำให้ intercellular adhesiveness เพิ่มขึ้น และทำให้เนื้อเยื่อแข็งแรงขึ้นสามารถป้องกันการสูญเสียความแน่นของเนื้อสัมผัสของผลไม้เนื่องมาจากการแช่เยือกแข็ง Alonso และคณะ (1995) ยังกล่าวอีกว่าความแน่นของเนื้อสัมผัสของผลเชอรี่สด ซึ่งหาจากค่า maximum force ในการวิเคราะห์แรงเฉือน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ calcium chloride มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นค่า shear force หลังแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v จึงมีค่าสูงที่สุด ส่วนค่า shear force หลังการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30°Brix มีค่าสูงรองลงมา อาจเนื่องมาจากซูโครสและ calcium จะเสริมกันในการให้ความแข็งแรง (He และ คณะ,1989) ส่วนค่า shear force หลังแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix นั้นจะมีค่าต่ำที่สุดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p > 0.05$) กับขนุนที่ไม่แช่สารละลายใดๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix จะมีการดึงน้ำออกโดยการออสโมซิส น้ำในเนื้อเยื่อขนุนจะซึมผ่านผนังเซลล์ออกไปสู่สารละลายภายนอก ดังนั้นแรงดันเต่งของขนุนจึงลดลงทำให้ค่า shear force หลังแช่สารละลายต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าหลังจากแช่ขนุนในสารละลายต่างๆ จะมีค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งสูงกว่าขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลายใดๆ ($p \leq 0.05$) โดยขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75%w/v มีค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ผนังเซลล์

ของขนุนแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อนำไปแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง กระบวนการแช่เยือกแข็งมีผลอย่างมากต่อการละลาย และการทำลายผนังเซลล์อย่างชัดเจน (Roy และคณะ, 2001) ผลคือเพกตินจะแตกเป็นสายสั้นๆ สูญเสียการทำงานของโพลิเมอร์และมันจะถูกปลดปล่อยจาก primary cell wall และ middle lamella หรือจะจับกันแบบหลวมๆ ที่ผนังเซลล์ หลังจากนั้นความแข็งแรงของเซลล์และความแน่นของเนื้อเยื่อจะลดลง (Funchigami, Hyakumoto และ Miyazaki ,1995)

แม้ว่าผลการแช่เยือกแข็งจะสูญเสียแรงดันเต่งแบบผันกลับไม่ได้ในทุก treatment ในระหว่างการละลายน้ำแข็ง แต่ treatment ที่ใช้ calcium จะป้องกันการนิ่มลงของผลไม้จากการแช่เยือกแข็ง และการละลายได้ (Alonso และคณะ, 1995) ดังนั้นจึงทำให้ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งของขนุนที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v มีค่าสูงที่สุด ส่วนขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 %w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix มีค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งสูงไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยากันแล้วจับตัวเป็นโครงสร้างเจลที่แข็งแรง ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L) พบว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลายใดๆ ขนุนจะเกิดรอยช้ำและฉ่ำน้ำมากขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากขนุนเป็นผลไม้ที่มีเนื้อเยื่อบอบบาง แต่เมื่อแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v และแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5%w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix ทำให้เนื้อเยื่อแข็งแรงเพิ่มขึ้น ไม่บอบช้ำง่าย เนื่องจากการทำลายทางกลและการแช่เยือกแข็ง จึงทำให้ขนุนทั้งสองกลุ่มมีค่าความสว่าง (L) สูงกว่าขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลาย และขนุนที่แช่ในสารละลายซูโครส 30 °Brix มีค่าความสว่าง (L) ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากขนุนที่ไม่แช่สารละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการแช่ในสารละลายซูโครส 30 °Brix จะเกิดการแพร่ของน้ำออกจากเนื้อเยื่อขนุนได้ง่าย จึงทำให้เกิดรอยฉ่ำน้ำสูง ดังนั้นค่าความสว่าง (L) จึงต่ำ

เมื่อพิจารณาสีเหลือง (b) เป็นไปลักษณะเดียวกับค่าความสว่าง (L) โดยขนุนที่ไม่แช่สารละลายใดๆ จะมีสีเหลือง (b) ต่ำกว่าขนุนที่แช่ในสารละลายต่างๆ ยกเว้นการแช่ในสารละลายซูโครส 30 °Brix ทั้งนี้ Bartolome และคณะ (1996) กล่าวว่า สีเหลือง (b) มีค่าลดลงเป็นผลมาจาก drip loss ซึ่งเมื่อพิจารณา drip loss จากเปอร์เซ็นต์ thawing loss จะพบว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลายใดๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ thawing loss สูงกว่าขนุนที่แช่ในสารละลายต่างๆ นอกจากนี้การไม่แช่สารละลายใดๆ อาจมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา cis–trans isomerization, epoxidation และ oxidation ได้ง่าย (Main และคณะ, 1986) ดังนั้นเมื่อละลายน้ำแข็ง สีเหลือง (b) ของขนุนที่ไม่ได้แช่สารละลายใดๆ จึงมีค่าต่ำกว่า

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมวัตถุดิบขั้นสุดท้ายก่อนแช่เยือกแข็ง ดังตารางที่

4.20 พบอิทธิพลของการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v สารละลายซูโครส 30 °Brix และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix ต่อคะแนนสีเหลือง ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนุนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) โดยขนุนที่แช่สารละลายมีค่าต่างๆดังกล่าว สูงกว่าขนุนที่ไม่แช่สารละลายใดๆ ยกเว้นคะแนนกลิ่นขนุนที่มีค่าต่ำกว่า โดยด้านสีเหลือง พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v ได้คะแนนสีเหลืองสูงที่สุด เนื่องจากการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีสีที่ไม่ฉ่ำน้ำ เนื้อแข็งแน่นไม่เหี่ยว สัมพันธ์กับค่าความสว่าง (L) ที่สูง ในด้านกลิ่นขนุน พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายต่างๆ จะส่งผลให้ความแรงของกลิ่นขนุนลดลง จึงทำให้ขนุนที่ไม่แช่ในสารละลายใดๆ ได้คะแนนการยอมรับสูงที่สุด ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v ได้คะแนนสูงที่สุดเนื่องมาจากการเกิดสารประกอบ calcium pectate ซึ่งให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อและผนังเซลล์ดังกล่าวแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 %w/v แล้วแช่ในสารละลายซูโครส 30 °Brix ได้คะแนนสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากคะแนนสีเหลืองที่มีค่าสูงรองจากขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v คะแนนกลิ่นขนุนและคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงปานกลาง ขณะที่ความหวานได้คะแนนการยอมรับสูงที่สุด

แต่เมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการแช่ขนุนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแช่เยือกแข็งและทดลองในขั้นต่อไป เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss ต่ำที่สุด ค่า shear force หลังแช่สารละลาย ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) สูง คะแนนสีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด และคะแนนความชอบโดยรวมสูงไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากขนุนที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/v แล้วแช่สารละลายซูโครส 30 °Brix ซึ่งเป็นการแช่สารละลายที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

5.3 การศึกษาสภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

จากการศึกษาข้อ 5.2 สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมวัตถุดิบก่อนแช่เยือกแข็ง คือ การแช่ขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v นาน 30 นาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค โดยขั้นตอนนี้ศึกษาสภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม แบ่งเป็น 2 หัวข้อสำคัญคือ ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งขนุนแบบไครโอจีนิค และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งขนุนแบบไครโอจีนิค

5.3.1 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งขนุนแบบไครโอจีนิค

ขั้นตอนนี้จะนำขนุนที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v นาน 30 นาที แล้วนำมาแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค แปรอุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง 3 ระดับ คือ –50 –60 และ –70 °C บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของใจกลางยวงขนุน และเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนอุณหภูมิสุดท้ายใจกลางยวงขนุนเท่ากับ –18 °C ได้ freezing curve ดังรูปที่ 6 – 9 ตามลำดับ จากรูปที่ 9 พบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งขนุนจนมีอุณหภูมิใจกลางขนุน –18 °C เท่ากับ 5 นาที 48 วินาที 4 นาที 37 วินาที และ 3 นาที 30 วินาที เมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งเท่ากับ –50 –60 และ –70 °C ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำลงจะใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งลดลง เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างขนุนกับสารทำความเย็นมีความแตกต่างกันมากขึ้น การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ดีมากขึ้น

5.3.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งขนุนแบบไครโอจีนิค

ขั้นตอนนี้จะนำขนุนที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v นาน 30 นาที แล้วนำมาแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค โดยทดลองเบื้องต้นแปรอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งเป็น 4 ระดับ คือ –50 –60 –70 และ –80 °C หลังจากแช่เยือกแข็ง พบว่าอุณหภูมิ –80 °C เกิดปัญหาขนุน cracking เป็นรอยแตกที่ผิวด้านนอกชัดเจน ดังนั้นจึงได้แปรอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งเป็น 3 ระดับ คือ –50 –60 และ –70 °C แช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิใจกลางยวงขนุนเท่ากับ –18 °C บรรจุในถุงแบบสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ –18 ± 1 °C นาน 1 สัปดาห์ นำมาละลายน้ำแข็งโดยทิ้งให้ละลายในตู้เย็น (4 ± 1 °C) นาน 4 ชั่วโมง ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.21 เป็นการศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแช่-ยือกแข็งขนุน พบอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคต่อเปอร์เซ็นต์ freezing loss เปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) จำนวนครั้งของการพ่น liquid nitrogen และเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ freezing loss พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำลงทำให้เปอร์เซ็นต์ freezing loss ต่ำลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยและผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เนื้อเยื่อสูญเสียน้ำน้อยลง จากการทดลองในทุกระดับอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss ต่ำกว่า 1% ซึ่งสอดคล้องกับ

Fennema, Powrie และ Marth (1973) ที่กล่าวว่าปกติการแช่เยือกแข็งอาหารแบบไครโอจีนิคควรจะมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1%

การถูกทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์จะมีความแตกต่างกันภายในเนื้อเยื่อขึ้นกับอัตราการแช่เยือกแข็ง (Tregunno และ Goff,1996) โดยมีผลบ่งชี้ไปถึงเปอร์เซ็นต์ thawing loss พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –70 °C มีเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำที่สุด เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสารทำความเย็น และขนุนมีมากทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง การเกิดผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดเล็กเกิดทั้งภายในและภายนอกเซลล์ในอัตราใกล้เคียงกัน ขณะที่การแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วต่ำผลึกน้ำแข็งจะเกิดบริเวณนอกเซลล์ก่อน ทำให้ความเข้มข้นภายนอกเซลล์สูงกว่าภายใน น้ำจึงเกิดการเคลื่อนที่จากภายในเซลล์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าไปสู่นอกเซลล์ ผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์จึงมีขนาดใหญ่ทิ่มแทงและสร้างความเสียหายแก่เซลล์ ดังนั้นเมื่อละลายน้ำแข็งน้ำจะสูญเสียออกมาภายนอกได้มากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ thawing loss สูง ($p \leq 0.05$) (Kidmose และ Martens, 1999)

เมื่อพิจารณาค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –70 °C มีค่า shear force สูงที่สุดแต่ไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ–60°C เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กกระจายสม่ำเสมอในเนื้อเยื่อได้อย่างรวดเร็ว เซลล์ไม่เกิดการฉีกขาดเสียหาย การสูญเสียน้ำในขั้นตอนการละลายต่ำ น้ำที่เหลืออยู่ในเซลล์มากนี้จึงช่วยให้เซลล์มีแรงดันเต่งสูง เมื่อทดสอบค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจึงให้ค่าสูงกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูง

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L) พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –70 °C ค่าความสว่าง (L) มีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูง เซลล์ถูกทำลายน้อยจึงไม่เกิดรอยช้ำมากหลังการละลาย ดังนั้นค่าความสว่าง (L) จึงมีค่าสูง ขณะที่สีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) ไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –50 °C ถึง –70 °C มีความใกล้เคียงกันมาก การเปลี่ยนแปลงของสีทั้งสองจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจน

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งของการพ่น liquid nitrogen และเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง พบว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง–70 °C มีจำนวนครั้งการพ่น liquid nitrogenน้อยที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง–60 °C และ –50 °Cตามลำดับ โดยเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –70 °C จะสั้นที่สุดคือ 3 นาที 30 วินาที ขณะที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง –60 °C และ –50 °C ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 4 นาที 37 วินาที และ 5 นาที 48 วินาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำความแตกต่างของสารทำความเย็น และอุณหภูมิของขนุน

มีสูง เวลาที่ใช้ในการพ่น liquid nitrogen เพื่อให้อุณหภูมิใจกลางขนุนลดลงจนถึง –18 °C จึงใช้เวลาน้อย ดังนั้นจำนวนครั้งของการพ่น liquid nitrogen มีน้อยลงด้วย

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนุนแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการแช่เยือกแข็ง ดังตารางที่ 4.22 พบอิทธิพลของอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งต่อสีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง –70 °C มีคะแนน สีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิดังกล่าวมีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูง เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายทั้งภายในและภายนอกเซลล์ เซลล์ถูกทิ่มแทงจากผลึกน้ำแข็งน้อย เกิดรอยช้ำและการสูญเสียน้ำน้อยส่งผลให้คะแนนสีเหลืองและลักษณะเนื้อสัมผัสสูง จากการที่ได้คะแนนการยอมรับด้านสีเหลืองและลักษณะเนื้อสัมผัสสูงทำให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงขึ้นด้วย

ดังนั้นการศึกษาสภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งขนุนแบบไครโอจีนิค คืออุณหภูมิ –70 °C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ขนุนมีเปอร์เซ็นต์ freezing loss และเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำ ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งและค่าความสว่าง (L) สูงที่สุดขณะที่มีจำนวนครั้งของการพ่น liquid nitrogen น้อยที่สุด โดยเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งขนุนที่อุณหภูมิดังกล่าวเท่ากับ 3 นาที 30 วินาที นอกจากนี้คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่อุณหภูมิดังกล่าวมีคะแนนสีเหลือง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

5.4 การศึกษาวิธีการละลายขนุนแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้ศึกษาวิธีการละลายขนุนแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม โดยนำขนุนที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบก่อนแช่เยือกแข็งคือ การแช่ขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75% w/v นาน 30 นาที มาแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ควบคุมอุณหภูมิ chamber –70°C บรรจุถุงปิดผนึกแบบสุญญากาศเก็บที่อุณหภูมิ –18 ± 1 °C นาน 1 สัปดาห์ นำมาละลายน้ำแข็งโดยแปรวิธีละลาย 2 วิธีคือ การละลายขนุนโดยทิ้งให้ละลายในตู้เย็น (4 ± 1°C) และการละลายขนุนโดยแช่น้ำอุณหภูมิ 28 ± 2 °C ละลายจนผลิตภัณฑ์มีความอ่อนตัวพอเหมาะ (5 ± 1 °C) ตรวจสอบคุณภาพโดยหาเปอร์เซ็นต์ thawing loss ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าสี และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ

จากตาราง 4.23 พบว่าขนุนที่ทิ้งให้ละลายในตู้เย็น (4 ± 1°C) มีเปอร์เซ็นต์ thawing loss ต่ำกว่าขนุนที่ละลายโดยแช่น้ำอุณหภูมิ 28 ± 2 °C ขณะที่ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) และ สีเหลือง (b) มีค่าสูงกว่า ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจาก

การละลายขนุนโดยทิ้งให้ละลายในตู้เย็นเป็นการละลายอย่างช้าๆ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในตู้เย็น และใจกลางยวงขนุนมีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการละลายขนุนโดยแช่น้ำ น้ำแข็งจากบริเวณผิวนอกจะละลายช้าทำให้เนื้อเยื่อภายในสามารถดูดน้ำกลับเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ โดยเนื้อเยื่อภายในที่ยังไม่ละลายซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจึงเกิดการแพร่จากผิวภายนอกเข้าในเนื้อเยื่อ ดังนั้นเซลล์จึงสูญเสียน้ำน้อยกว่า เปอร์เซ็นต์ thawing loss จึงต่ำกว่า และพบว่าการละลายอย่างรวดเร็วเกินไปมีผลให้ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งลดลง เนื่องจากเนื้อเยื่อเกิดการฉีดขาดเซลล์สูญเสียน้ำมาก ขนุนนิ่มเละ การต้านทานต่อแรงที่ใช้ในการตัดจึงลดต่ำลง นอกจากนี้ส่งผลให้เกิดรอยช้ำ และสูญเสียสารประกอบที่ให้สีไปกับ drip loss มากขึ้น จึงทำให้ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b) มีค่าลดลง

จากตารางที่ 4.24 พบว่าขนุนที่ทิ้งให้ละลายในตู้เย็นมีคะแนนการประเมินคุณภาพด้านต่างๆ สูงกว่าขนุนที่ละลายโดยแช่น้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการละลายขนุนโดยทิ้งให้ละลายในตู้เย็นเป็นการละลายอย่างช้าๆ น้ำและสารที่ละลายน้ำได้สูญเสียน้อยลง จึงทำให้ สี กลิ่นขนุน ความหวาน และลักษณะเนื้อสัมผัสดี ดังนั้นขนุนที่ทิ้งให้ละลายในตู้เย็นจึงได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่า ($p \leq 0.05$)

5.5 การศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนุนแช่เยือกแข็ง

ในขั้นตอนนี้ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนุนแช่เยือกแข็ง โดยนำขนุนที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบก่อนแช่เยือกแข็งคือ การแช่ขนุนพันธุ์เหลืองบางเตยในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.75 %w/v นาน 30 นาที มาแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ควบคุมอุณหภูมิ chamber –70°C บรรจุถุงปิดผนึกแบบสุญญากาศเก็บที่อุณหภูมิ –18 $\pm$ 1°C สุ่มตรวจคุณภาพตัวอย่างทุกเดือนเป็นระยะเวลา 6 เดือน ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาขนุนแช่เยือกแข็ง และประเมินสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางประสาทสัมผัส สมบัติทางเคมี สมบัติทางจุลินทรีย์ ได้ผลดังตารางที่ 4.25 – 4.28 ตามลำดับ

จากตาราง 4.25 พบอิทธิพลของระยะเวลาเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ thawing loss มีค่าสูงขึ้น ขณะที่ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง ค่าความสว่าง (L) สีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ thawing loss และค่า shear force หลังละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น เปอร์เซ็นต์ thawing loss สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไม่มีความคงตัวสามารถเกิดการตกผลึกใหม่ ทำให้จำนวนผลึกน้ำแข็งมีปริมาณลดลง ขณะที่ขนาดของผลึกใหญ่ขึ้น (Kidmose และ Martens, 1999) ส่งผลให้เนื้อเยื่อเกิดการฉีกขาดมากขึ้น เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจึงสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อได้มาก เมื่อพิจารณาในช่วงแรกของการเก็บรักษาเนื้อขนุนมีลักษณะนิ่มแต่เหนียว ดังนั้นค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งจึงมีค่าสูงและมีค่าสูงกว่าขนุนสดซึ่งมีลักษณะเนื้อแข็งกรอบ แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเนื้อขนุนจะนิ่มเละมาก ดังนั้นแรงต้านต่อการตัดของใบมีดมีค่าลดต่ำลงเป็นผลให้ค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งมีค่าต่ำลง

ด้านค่าความ (L) สีเขียว (–a) และสีเหลือง (b) พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่าทั้งสามดังกล่าวมีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการตกผลึกใหม่ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น และสร้างความเสียหายกับเซลล์เนื้อเยื่อขนุน ประกอบกับในช่วงขณะละลายน้ำแข็งเอนไซม์บางชนิดจะกลับมามี activity อีกครั้ง ทำให้ขนุนเกิดรอยช้ำมากขึ้น ค่าความสว่าง (L) ลดลง เมื่อเซลล์เนื้อเยื่อเกิดความเสียหายมากขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ thawing loss สูงขึ้น และรงควัตถุต่างๆสามารถสูญเสียไปกับ drip loss ได้ ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อมีระยะเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพด้อยลง กล่าวคือขนุนมีรอยช้ำมากขึ้น สีซีดลง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มเละมากยิ่งขึ้น

จากตารางที่ 4.26 พบอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคะแนนสีเหลือง กลิ่นขนุน ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาด้านสีเหลือง พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานยิ่งขึ้นคะแนนสีเหลืองลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงการเก็บรักษาสามารถเกิดการตกผลึกใหม่ ผลึกน้ำแข็งจากเดิมที่มีขนาดเล็กสามารถเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น ทิ่มแทงเนื้อเยื่อขนุนทำให้เซลล์ขนุนเกิดความเสียหาย มีรอยช้ำมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่าง (L) ที่ลดต่ำลง ในด้านกลิ่นพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานยิ่งขึ้นคะแนนกลิ่นขนุนจะลดลง อาจเนื่องมาจากกลิ่นบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้เกิดการสูญเสียไปในระหว่างการละลาย โดยจากการวิจัยของ Berry และ Kalra (1988) ได้วิเคราะห์กลิ่นหอมของจำปาดะ ซึ่งเป็นขนุนประเภทหนึ่งโดยใช้เทคนิค gas chromatography – mass spectrometry (GC – MS) พบว่ากลิ่นขนุนมีประมาณ 30 องค์ประกอบ เช่น ethanol, butyl acetate, methyl butyrate, ethyl isovalerate, isoamyl isovalerate, hexanol และ octanol เป็นต้น เมื่อพิจารณาด้านความหวาน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานยิ่งขึ้นคะแนนความหวานจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ thawing loss สูงมากขึ้น น้ำตาลที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อขนุนจะสามารถสูญเสียไปกับ drip loss ได้มากขึ้น ดังนั้นผู้ทดสอบจึงให้

คะแนนความหวานลดต่ำลง เมื่อพิจารณาด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าคะแนนลดลงเช่นเดียวกับคะแนนสีย่วง กลิ่นขนุน และความหวาน ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลาการเก็บนานยิ่งขึ้น ผลึกน้ำแข็งสามารถเกิดการตกผลึกใหม่ผลึกจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาดเสียหาย เนื่องมาจากผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ดังกล่าว เนื้อขนุนจึงนิ่มเละมากยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้ทดสอบจึงให้คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง และจากคะแนนทั้งทางด้านสีย่วง กลิ่นขนุน ความหวาน และลักษณะเนื้อสัมผัสที่ลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นจึงส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมลดต่ำลง โดยเมื่อพิจารณาจากคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาททุกด้าน พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาช่วง 3 เดือนแรก คะแนนการประเมินคุณภาพมีคะแนนค่อนข้างสูง แต่หลังจากเดือนที่ 3 คะแนนการประเมินคุณภาพมีคะแนนต่ำลงมาก อยู่ในช่วงคะแนนเฉลี่ย 0.5 – 3 คะแนน แสดงให้เห็นว่าขนุนแช่เยือกแข็งสามารถเก็บให้มีคุณภาพดีได้อยู่ในช่วง 3 เดือนแรกเท่านั้น

จากตารางที่ 4.27 พบอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่าดังกล่าวจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ผลึกน้ำแข็งสามารถทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์เกิดการฉีกขาด (Marin, Cano และ Fuster, 1992) สารละลายต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์รวมทั้งน้ำตาลรีดิวซ์สามารถสูญเสียออกจากเซลล์ไปพร้อมกับน้ำในช่วงการละลายได้มากยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณกรดทั้งหมด พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณกรดทั้งหมดลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากกรดต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะสามารถละลาย และสูญเสียไปกับน้ำในช่วงการละลายเช่นเดียวกับน้ำตาลรีดิวซ์ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marin และคณะ (1992) ที่วิจัยพบว่ามะม่วงแช่เยือกแข็งหั่นชิ้นมีระดับของกรดแอสคอร์บิกน้อยกว่ามะม่วงสดหลังจากเก็บรักษานาน 120 วัน ที่อุณหภูมิ –18°C และยังพบว่ากรดทั้งหมดของมะม่วงหั่นชิ้นสามารถจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งระหว่างการแช่เยือกแข็งมะม่วงทุกๆ พันธุ์ที่ศึกษา(พันธุ์ Smith, Lippens Palmer และพันธุ์ Davis Haden) เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พบว่าเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับน้ำตาลรีดิวซ์และกรดทั้งหมดกล่าวคือ เมื่อเก็บรักษานานขึ้นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขยายขนาดในช่วงการเก็บรักษาสามารถทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์เกิดการฉีกขาดสารละลายต่างๆ รวมทั้งของแข็งที่ละลายได้จึงสูญเสียไปในช่วงการละลายได้มากขึ้น

จากตารางที่ 4.28 พบอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรามีจำนวนลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจะทำลายจุลินทรีย์บางชนิด และป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ (Penfield และ Campbell,1990) โดยการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กให้กลายเป็นผลึกขนาดใหญ่มากขึ้นจะสามารถทำลายเซลล์จุลินทรีย์ นอกจากนี้ในช่วงการแช่เยือกแข็งน้ำซึ่งเปลี่ยนสถานะเป็น

น้ำแข็งมีผลทำให้ค่า A_w ของขนุนต่ำลงจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากจำนวนจุลินทรีย์ขนุนสดมีค่าสูงมากกว่าจุลินทรีย์ของขนุนแช่เยือกแข็ง จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของสับปะรดเยือกแข็ง มอก.425-2525 กำหนดสุขลักษณะของอาหารให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ต่อกรัมไม่เกิน $3.0*10^6$ โคโลนี (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2525) ซึ่งจากมาตรฐานดังกล่าว พบว่าขนุนแช่เยือกแข็งมีคุณภาพทางจุลินทรีย์สูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งส่งผลดีในด้านการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อเยื่อขนุนแช่เยือกแข็งตัดขวางที่อายุการเก็บรักต่างกัน และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 เท่า และ 100 เท่า ได้ผลดังรูปที่ 10 จากรูปเมื่อพิจารณาขนุนสด พบว่าโครงสร้างขนุนสดมีช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดเล็กและกระจายอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาขนุนหลังจากแช่เยือกแข็งแล้วเก็บเดือนที่ 0 พบว่าในส่วนที่สว่างของภาพจาก (SEM) จะเป็นส่วน cytoplasmic membrane และผนังเซลล์ (Martinez - Monzo และคณะ, 1998) มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับขนุนสด ผนังเซลล์เรียงติดกันสม่ำเสมอ และมีช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดใหญ่ขึ้น แต่จัดเรียงสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษานานขึ้นจนครบ 6 เดือน พบว่าผนังเซลล์เกิดการแตกออกมากขึ้น ผนังเซลล์เสียรูปร่างและความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่าการแตกเสียหายของ เยื่อหุ้มเซลล์มีผลทำให้การเชื่อมกันระหว่างเซลล์มีน้อยลง เซลล์ฉีกขาดทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์มีขนาดใหญ่และมีจำนวนมากขึ้น นอกจากนี้เซลล์ยังมีลักษณะเหี่ยวย่นมากขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการตกผลึกใหม่ในระหว่างการเก็บรักษา ผลึกดังกล่าวสามารถทำให้เซลล์เสียหายและสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ได้มาก

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อเยื่อขนุนแช่เยือกแข็งตัดขวางที่อายุการเก็บต่างกัน ด้วยวิธีทาง Histology ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 400 เท่า ได้ผลดังรูปที่ 11 จากรูปพบว่าเมื่อพิจารณาลักษณะทางเนื้อเยื่อของขนุนสด พบ parenchyma cell wall เป็นเซลล์เดี่ยว ผนังเซลล์บาง รูปร่างไม่แน่นอนแต่มีความเป็นระเบียบ ผิวเรียบ และมีความสมบูรณ์ องค์ประกอบภายในเซลล์ต่าง ๆ เห็นได้ชัดเจน เมื่อพิจารณาขนุนหลังแช่เยือกแข็งเดือนที่ 0 พบ parenchyma cell wall บางส่วนมีการฉีกขาด บางส่วนมีการหดตัวมาอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งซึ่งสัมพันธ์กับค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งที่มีค่าสูงเนื่องจากการอัดตัวของเซลล์ขนุน ขนุนมีลักษณะนิ่มแต่เหนียว องค์ประกอบในเซลล์สูญเสียไป เซลล์บางเซลล์เสียรูปร่างและความเป็นระเบียบ เมื่อระยะเวลาการเก็บนานถึง 3 เดือน และ 6 เดือน พบว่า parenchyma cell wall ฉีกขาดมากยิ่งขึ้นเซลล์เสียรูปร่าง และความเป็นระเบียบเกิดช่องว่างภายในเซลล์ใหญ่มากขึ้น parenchama cell wall ไม่สามารถยึดเกาะเป็นโครงสร้างเซลล์ได้ ซึ่งส่งผลต่อค่า shear force หลังละลายน้ำแข็งมีค่าต่ำลง ขนุนตัดขาดได้ง่ายขึ้นเนื่องจากเนื้อสัมผัสของขนุนที่เก็บอายุนานขึ้น นิ่มเละมากขึ้น