บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. คัดเลือกและวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบ

1.1 คัดเลือกวัตถุดิบ

การทดลองนี้ใช้มะม่วง 2 พันธุ์ คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ และมะม่วงโชคอนันต์ เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกและส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศมาก (ภูวนาถ นนทรีย์,2532) ส่วนมะม่วงโชคอนันต์เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่น เมื่อสุกแล้วสามารถเก็บไว้ได้หลายวันโดยที่ลักษณะเนื้อสัมผัสยังดีอยู่ (วิจิตร วังใน,2533) มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 300-350 กรัมต่อผล และมะม่วงโชคอนันต์มีขนาด 250-300 กรัมต่อผล เนื่องจากเป็นขนาดที่ในท้องตลาดมีอยู่ในปริมาณมาก แล้วนำมาคัดให้มีความแก่ใกล้เคียง โดยใช้สมบัติของความถ่วงจำเพาะของมะม่วงเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้เพราะเมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้น จะมีความถ่วงจำเพาะมากขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มของน้ำหนักผลมากกว่าการเพิ่มขนาดหรือปริมาตรของผล (ดวงตรา กสานติกุล,2526 ; สายชล เกตุษา,2533) และเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง จึงสามารถใช้ความถ่วงจำเพาะเป็นเกณฑ์ในการคัดระดับความแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้และมะม่วงโชคอนันต์ Subramanyam,Gouri และ Krishnamurthy (1976) ใช้ความถ่วงจำเพาะเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์ Alphonso พบว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.00-1.02 จะมีระดับความแก่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวที่สุด ส่วนสิรีนาถ เกียรติธนาพงษ์ (2533) ใช้ความถ่วงจำเพาะในการคัดระดับความแก่ของมะม่วงแก้ว พบว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.04-1.05 เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตมะม่วงชิ้นในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง มะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ ที่คัดเลือกมาใช้ในการทดลองนี้มีความถ่วงจำเพาะ 1.01-1.03 ซึ่งเป็นมะม่วงที่จมในน้ำเกลือ 1% และลอยในน้ำเกลือ 5% จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะในช่วงนี้มีความแก่ใกล้เคียงกัน เมื่อบ่มให้สุกจะมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ คือ มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ และความแน่นเนื้อ ใกล้เคียงกัน มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่านี้ จัดเป็นมะม่วงที่อ่อน เมื่อสุกจะมีรสเปรี้ยว เพราะมีปริมาณน้ำตาลน้อย โดยมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 หรือมะม่วงที่ลอยในน้ำ เมื่อบ่มให้สุกมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ ประมาณ 13 ^{0}Brix มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.00-1.01 หรือมะม่วงที่จมในน้ำและลอยในน้ำเกลือ 1% พบว่า เมื่อบ่มให้สุกแล้วมีมะม่วงบางส่วนที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใกล้เคียงกับมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 ซึ่งเป็น

มะม่วงที่อ่อน จึงไม่นำมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.00-1.01 มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากอาจมีมะม่วงอ่อนปะปนมาด้วย ส่วนมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.03 หรือมะม่วงที่จมในน้ำเกลือ 5 % พบว่ามีความแน่นเนื้อต่ำกว่า และสุกเร็วกว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.01-1.03 ดังนั้นมะม่วงน้ำดอกไม้และโชคอนันต์ที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.01 และมากกว่า 1.03 จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการทดลอง

หลังการคัดขนาดและระดับความแก่ของมะม่วงแล้ว นำมะม่วงมาบ่มที่อุณหภูมิห้อง และศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของมะม่วงที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน โดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกวัน จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.45 พบว่า เมื่อบ่มมะม่วงนานขึ้นปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะลดลง และค่า pH จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่ลดลง ($p \leq 0.05$) เพราะกรดบางส่วนถูกใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการหายใจ (ดวงตรา กสานติกุล และคณะ,2527) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อยู่ในรูปกรดซิตริก เนื่องจากในมะม่วงมีกรดซิตริกมากที่สุด (Hulme,1971;Subramanyam และคณะ,1975) ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น($p \leq 0.05$) เพราะเมื่อมะม่วงสุกแป้งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (ดวงตรา กสานติกุล และคณะ,2527) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บ่ม 1 วัน เท่ากับ 20 จะเพิ่มขึ้นเป็น 72 และ 187 เมื่อบ่มนาน 3 วัน และ 6 วัน ตามลำดับ ส่วนในมะม่วงโชคอนันต์ที่บ่มนาน 1 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด เท่ากับ 15 และเพิ่มขึ้นเป็น 65 และ 143 เมื่อบ่มนาน 3 วัน และ 6 วัน ตามลำดับ ขณะเดียวกันความแน่นเนื้อของมะม่วงลดลง ($p \leq 0.05$) เพราะมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในชั้น middle lamella จากรูปที่ไม่ละลายน้ำ คือ protopectin ไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ คือ กรดเพคตินิกเป็นผลให้ผนังเซลล์ยึดติดกันอย่างหลวมๆ จึงทำให้ความแน่นเนื้อลดลงไป (Eskin และคณะ,1971) และระหว่างสุกเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนตัวของเนื้อมะม่วง คือ pectinesterase polygalacturonase และ cellulase มีกิจกรรมสูงขึ้น pectinesterase จะเร่งปฏิกิริยา deesterification ของเพคติน แยกกลุ่ม methoxy ออกจากโมเลกุลของเพคติน ทำให้ได้กรดเพคตินิก และเมทานอล polygalacturonase จะไปเร่งการตัดโมเลกุลของเพคตินให้สั้นลงเป็น α-D-galacturonic acid ส่วน cellulase จะไปไฮโดรไลส์ β-1,4-glycosidic linkage ของ cellulose ทำให้โมเลกุลสั้นลง ส่งผลให้มะม่วงมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้น (Selvaraj และ Kumar,1989) มะม่วงน้ำดอกไม้ที่บ่ม 1 วัน มีความแน่นเนื้อ 13.48±0.54 นิวตัน และเมื่อบ่มนาน 6 วัน ลดลงเหลือ 2.66±0.15 นิวตัน ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ที่บ่ม 1 วัน มีความแน่นเนื้อ 22.07±1.47 นิวตัน และเมื่อบ่มนาน 6 วัน ลดลงเหลือ 5.30±0.23 นิวตัน มะม่วงน้ำดอกไม้ที่บ่มนาน 3-4 วัน มีความแน่นเนื้อ อยู่ในช่วง 3-4 นิวตัน

ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ที่บ่มนาน 3-4 วัน มีความแน่นเนื้อ อยู่ในช่วง 6-7 นิวตัน ซึ่งมีความแน่นเนื้อมากกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้

เมื่อนำมะม่วงที่บ่มมาประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยเริ่มจากมะม่วงที่บ่มนาน 2 วัน เป็นต้นไป ทั้งนี้เพราะมะม่วงที่บ่มนาน 1 วัน เนื้อมะม่วงมีสีขาวนวล รสเปรี้ยวมาก จัดเป็นมะม่วงที่ดิบ จากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.46 พบว่า มะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน มีคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่ามะม่วงบ่มนาน 2 5 และ 6 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เพราะมะม่วงที่บ่มนาน 2 วัน มีสีเหลืองอ่อน ส่วนมะม่วงที่บ่มนาน 5 และ 6 วัน มีสีเหลืองเข้มและคล้ำง่าย เมื่อบ่มมะม่วงนานขึ้น คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากระหว่างการสุกของผลไม้จะเกิดสารระเหยที่ให้กลิ่นรสออกมา ได้แก่ เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน เทอร์พีน โดยจะเริ่มเกิดกลิ่นรสในช่วงไคลแมคเทอริก (Subramanyam และคณะ,1975 ; ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527) สอดคล้องกับการทดลองของ Selvaraj ,Kumar และ Pal (1989) ที่พบว่า กลิ่นของมะม่วงจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม สารให้กลิ่นรสในมะม่วงส่วนใหญ่เป็นพวก monoterpene (Mecleod,1985 ; Joseph,1992) มะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน มีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติมากกว่ามะม่วงที่บ่มนาน 2 5 และ 6 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เพราะมะม่วงที่บ่มนาน 2 วัน มีรสเปรี้ยวมาก ส่วนมะม่วงที่บ่มนาน 5 และ 6 วัน มีรสหวานมาก ขณะที่มะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย เมื่อบ่มมะม่วงนานขึ้นคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความแน่นเนื้อของมะม่วงลดลง และพบว่ามะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน มีคะแนนความชอบรวมมากกว่ามะม่วงที่บ่มนาน 2 5 และ 6 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองดังกล่าวจึงเลือกมะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน มาใช้ทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากมีคะแนนการยอมรับด้านสี รสชาติและความชอบรวมสูง และมีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างสูง ระหว่างการสุกของมะม่วงสีของเปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง แต่ไม่สามารถใช้สีของเปลือกบอกระดับความสุก เนื่องจากไม่สามารถแยกได้อย่างเด่นชัด

1.2 วิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบ

วิเคราะห์สมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บ่มนาน 3 วัน เพราะหลังจากผ่านขั้นตอนการศึกษาผลของระดับความสุกของมะม่วงและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีต่อคุณภาพของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง ในข้อ 4 แล้วพบว่ามะม่วงที่บ่มนาน 3 วัน เป็นมะม่วงที่เหมาะสำหรับการแช่เยือกแข็ง จึงสุ่มมะม่วงมาทั้งหมด 80 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ จากตารางที่ 4.3 พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ที่บ่มนาน 3 วัน มี pH 4.47 ± 0.12

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 0.25 ± 0.01 % ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 17.93 ± 0.15 ^{0}Brix ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด เท่ากับ 72 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 16.10 ± 0.15 % ปริมาณวิตามินซี 9.32 ± 0.74 mg/100g ปริมาณ β-carotene 2.32 ± 0.18 mg/100g และมีความแน่นเนื้อ 3.92 ± 0.19 นิวตัน ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ที่บ่มนาน 3 วัน (ตารางที่ 4.77) พบว่ามีค่า pH 4.40 ± 0.11 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 0.27 ± 0.03 % ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 17.52 ± 0.30 ^{0}Brix ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด เท่ากับ 65 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 15.90 ± 0.21 % ปริมาณวิตามินซี 18.32 ± 1.12 mg/100g ปริมาณ β-carotene 2.67 ± 0.21 mg/100g และมีความแน่นเนื้อ 6.79 ± 0.35 นิวตัน จากผลการทดลองนี้ พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด และความแน่นเนื้อของมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ จะใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดระดับความสุกของมะม่วงที่นำมาแช่เยือกแข็ง โดยมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ใช้แช่เยือกแข็งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด 72 และมีความแน่นเนื้อ 3.92 ± 0.19 นิวตัน ส่วนมะม่วงโชคอนันต์ที่ใช้แช่เยือกแข็งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำต่อปริมาณกรด 65 และมีความแน่นเนื้อ 6.79 ± 0.35 นิวตัน ปริมาณวิตามินซีและปริมาณ β-carotene จะแตกต่างกันจากของกองโภชนาการที่อ้างไว้ในวารสารปริทรรศน์ ทั้งนี้เนื่องจากในวารสารปริทรรศน์เป็นปริมาณวิตามินซี และ β-carotene ของมะม่วงสุก ไม่ได้เฉพาะเจาะจงพันธุ์ของมะม่วง และจากการทดลอง พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้และมะม่วงโชคอนันต์เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งในลักษณะเป็นชิ้น จะได้ผลิตภัณฑ์ 65 % และ 62 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งในลักษณะเป็นชิ้น จะได้ผลิตภัณฑ์มากกว่า เพราะ มีเปลือกบางกว่า และเมล็ดลีบ ขณะที่มะม่วงโชคอนันต์มีเปลือกหนา และมีเมล็ดหนากว่า

2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer และ cryogenic freezer

2.1 air blast freezer

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วย air blast freezer ที่อุณหภูมิ -32 องศาเซลเซียส พบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของชิ้นมะม่วงถึง -18 องศาเซลเซียส เท่ากับ 130.05 นาที (รูปที่ 4.1) และเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงโชคอนันต์จนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางถึง -18 องศาเซลเซียส เท่ากับ 81.80 นาที (รูปที่ 4.13) เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของชิ้นผลิตภัณฑ์ ขนาดและรูปร่างของภาชนะบรรจุ วิธีการส่งผ่านความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับสารให้ความเย็น และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์กับสารให้

ความเย็น (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก,2529) ดังนั้น ชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า จึงใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานกว่า โดยชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้มีขนาดเฉลี่ย 105 ± 8 กรัม ส่วนชิ้นมะม่วงโชคอนันต์มีขนาดเฉลี่ย 83 ± 7 กรัม

2.2 cryogenic freezer

2.2.1 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงด้วย cryogenic freezer โดยแปรอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -70 -90 และ -110 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.48 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจะลดลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่ำ มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารให้ความเย็นกับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์มาก เกิดการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้สามารถระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้มาก อุณหภูมิจึงลดลงอย่างรวดเร็ว (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก,2529) และการแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงด้วย cryogenic freezer ใช้เวลาน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ทั้งนี้ด้วยเหตุผลเดียวกัน คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer ต่ำกว่าอุณหภูมิของ air blast freezer ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารให้ความเย็นและผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จึงมากกว่า และพบว่าชิ้นมะม่วงโชคอนันต์ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ทุกอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.48) เนื่องจากชิ้นมะม่วงโชคอนันต์มีขนาดเล็กกว่า เวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นมะม่วงไปยังสารให้ความเย็นจึงน้อยกว่า (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก,2529)

2.2.2 ศึกษาอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

ศึกษาอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม โดยแปรอุณหภูมิแช่เยือกแข็งของ cryogenic freezer -70 -90 และ -110 องศาเซลเซียส แล้วนำชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิดังกล่าว มาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ ผลการทดลองจากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.49 พบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังแช่เยือกแข็ง ($p>0.05$) แต่พบว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะสูญเสียน้ำหนักหลังแช่เยือกแข็งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ -90 และ -110 องศาเซลเซียส เล็กน้อย อุณหภูมิแช่เยือกแข็งมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง และความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 และ -110 องศาเซลเซียส จะสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง และมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่แตกต่างจากชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส จะสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งสูงที่สุด และมี

ความแน่นเนื้อต่ำที่สุด เนื่องจากชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งมากกว่า จึงผ่านจุดเยือกแข็งไปช้ากว่า โดยอุณหภูมิที่ใกล้จุดเยือกแข็งนี้ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่ขึ้น (crystal growth) เป็นผลให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาแช่เยือกแข็งนานกว่ามีขนาดใหญ่กว่า และทำลายเนื้อเยื่อของมะม่วงมาก ทำให้สูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งมาก (Fennema และคณะ,1973 ; ประสิทธิ์ อติวีรกุล,2527) เมื่อพิจารณาผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.50) พบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) โดยชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -110 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏน้อยที่สุด เพราะมีรอยแตกที่ผิวของผลิตภัณฑ์บางชิ้น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำนานเกินไป (Hoeft Bates และ Ahmed,1973) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ถึง -18 องศาเซลเซียส ต้องรีบนำออกจากเครื่องแช่เยือกแข็งทันที การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก อัตราการแช่เยือกแข็งจะสูง น้ำในผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเร็วมาก ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความดันภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวของผลิตภัณฑ์ (Fennema และ Powrie,1964 ; IIR,1972 ; Brown,1979) ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส และ -110 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่จะแตกต่างจากชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่ -70 องศาเซลเซียส ($p \leq 0.05$) ที่มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด เนื่องจากชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส และ -110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาแช่เยือกแข็งน้อยกว่าจึงผ่านจุดเยือกแข็งไปอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งทำลายเนื้อเยื่อของมะม่วงน้อย ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสจึงดีกว่า (Fennema และคณะ,1973 ; ประสิทธิ์ อติวีรกุล,2527) ซึ่งสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่อความแน่นเนื้อของชิ้นมะม่วง ด้านความชอบรวม พบว่า ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส มีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส จึงเลือกอุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส สำหรับแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงด้วย cryogenic freezer เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งต่ำมีความแน่นเนื้อและคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูง

3. ศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

นำมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน มาหาระดับการเกิดสีน้ำตาลหลังการละลายน้ำแข็ง โดยนำไปแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer แล้ววัดระดับการเกิดสีน้ำตาลหลังละลายน้ำแข็ง พบว่า มะม่วงที่บ่มนาน 4 วัน มีระดับการเกิดสีน้ำตาลมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ polyphenol oxidase ในมะม่วงมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างสุก (Subramanyam และคณะ,1975) จึงใช้มะม่วงที่บ่มนาน 4 วัน มาทดลองยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีน้ำตาล

ในผลไม้เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกโดยมีเอนไซม์ polyphenol oxidase เป็นตัวเร่ง (Finkle,1971) การทดลองนี้จะใช้สารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยแช่ชิ้นมะม่วงในสารละลายดังกล่าว แล้วนำไปแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer นำมาละลายน้ำแข็งและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการวัดระดับการเกิดสีน้ำตาลหลังการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งแล้ว เนื่องจากการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็ง จะทำลายเนื้อเยื่อของมะม่วง เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น (Woodroof และ Luh,1975) ดังนั้น การวัดระดับการเกิดสีน้ำตาลในช่วงนี้ จึงสามารถเลือกระดับความเข้มข้นของกรดที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้เหมาะสมกว่าการวัดระดับการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง จากตารางที่ 4.8 พบว่า ความเข้มข้นของกรดซิตริก ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก มีผลต่อระดับการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากกรดซิตริกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการลดค่า pH ทำให้เกิดภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ (Eskin และคณะ,1971) โดยเอนไซม์ polyphenol oxidaseในมะม่วงจะทำงานได้ดีที่ pH 6.5-7.0 (Vamos-Vigyazo,1981) นอกจากนี้กรดซิตริกยังเป็นตัวจับโลหะที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ เช่น ทองแดง (Eskin และคณะ,1971) ส่วนกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการรีดิวซ์ o-quinone ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัวกลับไปเป็น o-diphenol ใหม่ (วรรณา ตุลยธัญ,2528) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก (รูปที่ 4.3) พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อระดับการเกิดสีน้ำตาล ($p > 0.05$) ทั้งนี้เพราะกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์ได้ง่าย (Fennema,1973) ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ชิ้นมะม่วงที่แช่ในสารละลายผสมกรดซิตริก 0.5% ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก 0.25% หรือ 0.5% จะเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าชิ้นมะม่วงที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% เพียงอย่างเดียว แต่ไม่แตกต่างจากชิ้นมะม่วงที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก 1.0% ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก 0.25% หรือ 0.50% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pizzocaro,Torreggiani และ Gilardi (1993) ที่รายงานว่าการใช้กรดแอสคอร์บิก 10 กรัมต่อลิตรร่วมกับกรดซิตริก 2 กรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นแอปเปิลได้ดี หากใช้กรดแอสคอร์บิกเพียงอย่างเดียวไม่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลส่วนการใช้กรดซิตริกเพียงอย่างเดียว จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้น้อย การใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกจะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้มากขึ้น เพราะกรดซิตริกจะลดค่า pH ลง ทำให้กรดแอสคอร์บิกมีความคงตัวขึ้น ไม่สลายง่าย จึงยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าการใช้กรดชนิดเดียว และจากตารางที่ 4.8 พบว่าเวลาที่ใช้แช่ในสารละลายไม่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล($p > 0.05$)

จึงใช้เวลาที่แช่ในสารละลาย 5 นาที แล้วนำไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.10 พบว่า ความเข้มข้นของกรดซิตริกมีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านสี รสชาติ และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.11 พบว่า ชิ้นมะม่วงที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกจะให้คะแนนการยอมรับด้านสีสูงกว่าชิ้นมะม่วงที่ไม่ได้แช่ในสารละลายกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) แต่การใช้กรดซิตริกถึง 1.0% คะแนนด้านรสชาติจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เพราะผลิตภัณฑ์จะมีรสเปรี้ยว ชิ้นมะม่วงที่แช่ในสารละลายผสมที่มีกรดซิตริก 0.5% จะมีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด เนื่องจากคะแนนการยอมรับด้านสีและรสชาติสูง จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ จึงเลือกภาวะที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งคือ แช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริก 0.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.25% นาน 5 นาที เพราะระดับการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นมะม่วงต่ำ และมีคะแนนการยอมรับด้านสี รสชาติ และความชอบรวมสูง

เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีราคาแพง จึงได้ทดลองใช้กรดอิริทอร์บิก (d-isoascorbic acid) ซึ่งมีราคาถูกกว่าแทนกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เปรียบเทียบผลการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ระหว่างกรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทอร์บิก ผลการทดลองจากตารางที่ 4.12 พบว่า กรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทอร์บิก มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) ทั้งในกรณีที่ใช้เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับกรดซิตริก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Santerre และคณะ (1988) ที่รายงานว่ากรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทอร์บิก มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นแอปเปิลแช่เยือกแข็งไม่แตกต่างกัน และผลการทดลองของ Sapers และ Ziolkowski (1987) ที่พบว่า กรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทอร์บิก มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกรดอิริทอร์บิกมีกลไกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก เมื่อพิจารณาผลการทดลองทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.13) พบว่า กรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทอร์บิกให้คะแนนการยอมรับด้านสี รสชาติ และความชอบรวมไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังนั้นเมื่อพิจารณาระดับการเกิดสีน้ำตาล การยอมรับทางประสาทสัมผัส และราคาของกรดทั้งสองชนิด จึงใช้กรดอิริทอร์บิกแทนกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง และภาวะที่เหมาะสม คือ แช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริก 0.5% และกรดอิริทอร์บิก 0.25% นาน 5 นาที

ส่วนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็ง ทดลองเช่นเดียวกับชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าได้ผลเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.51-4.55 และรูปที่ 4.15) ดังนั้นการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็งจึงใช้ภาวะเดียวกันกับชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง

4. ศึกษาผลของระดับความสุกของมะม่วงและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง

นำชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้มาศึกษาผลของระดับความสุกของมะม่วง และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง โดยใช้มะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน ที่คัดเลือกมาตามข้อ 1. มาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จากตารางที่ 4.15 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งหลังละลายน้ำแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ ระดับความสุกของมะม่วง และความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ส่วนเวลาที่แช่ในสารละลาย ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อ($p > 0.05$) ดังนั้น จึงใช้เวลาแช่ในสารละลาย 10 นาที เมื่อพิจารณาผลของระดับความสุกของมะม่วง (ตารางที่ 4.16) พบว่ามะม่วงที่บ่มนาน 3 วัน เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อมากกว่ามะม่วงที่บ่มนาน 4 วัน เนื่องจากมะม่วงที่บ่มนานขึ้น เพคตินจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปละลายน้ำได้มากขึ้น (Eskin และคณะ,1971) และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนตัวของมะม่วงมีกิจกรรมสูงขึ้น (Savaraj และ Kumar,1989) เมื่อนำมาแช่เยือกแข็ง ลักษณะเนื้อสัมผัสจะยิ่งนิ่มขึ้น เพราะผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำลายเนื้อเยื่อของมะม่วง (Fennema และคณะ,1973) ส่วนผลของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อความแน่นเนื้อ (ตารางที่ 4.17) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความแน่นเนื้อของชิ้นมะม่วงหลังละลายน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก Ca^{2+} จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลของกรดเพคตินิกเป็นแคลเซียมเพคติเนต ซึ่งทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น (Eskin และคณะ,1971 ; Fennema,1975) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cooke และคณะ (1976) ที่พบว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลให้ชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อดีขึ้น เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 4.19 พบว่าระดับความสุกของมะม่วงมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มะม่วงที่บ่มนาน 3 วัน เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งมีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวมมากกว่ามะม่วงที่บ่มนาน 4 วัน (ตารางที่ 4.20) เพราะมีความแน่นเนื้อมากกว่า การแช่ชิ้นมะม่วงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงขึ้น แต่เมื่อใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ถึง 2 % คะแนนด้านกลิ่นรสจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เพราะมีกลิ่นรสแปลกปลอม (ตารางที่ 4.21) ดังนั้นเมื่อพิจารณาความแน่นเนื้อและการยอมรับทางประสาทสัมผัส จึงเลือกมะม่วงที่บ่มนาน 3 วัน แล้วแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 % นาน 10 นาที ก่อนการแช่เยือกแข็ง

เพราะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อดีขึ้น มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูง

สำหรับมะม่วงโชคอนันต์ ศึกษาการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้มะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.0 % นาน 10 นาที ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในมะม่วงน้ำดอกไม้ เนื่องจากชิ้นมะม่วงโชคอนันต์มีความแน่นเนื้อดีกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ จึงใช้ภาวะเดียวกันนี้ ผลการทดลองจากตารางที่ 4.56 และตารางที่ 4.57 พบว่า มะม่วงที่บ่มนาน 3 และ 4 วัน เมื่อนำมาแช่เยือกแข็ง มีความแน่นเนื้อ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) แต่มะม่วงที่บ่มนาน 3 วัน เมื่อแช่เยือกแข็งแล้วมีความแน่นเนื้อ คะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงกว่ามะม่วงที่บ่มนาน 4 วัน เล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกมะม่วงที่บ่มนาน 3 วัน มาใช้สำหรับแช่เยือกแข็ง

5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บ

5.1 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

5.1.1 การสูญเสียน้ำหนักหลังแช่เยือกแข็ง

การสูญเสียน้ำหนักหลังแช่เยือกแข็งของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.59 พบว่า ทั้งชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง($p>0.05$) เนื่องจากระหว่างการแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer จะเรียงชิ้นมะม่วงอยู่ในถุงพลาสติก แล้วปิดถุง เพื่อช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ขณะที่การแช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จะไม่บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก ดังนั้น แม้การแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer จะใช้เวลานานกว่า cryogenic freezer มาก การสูญเสียน้ำหนักก็ไม่ต่างกัน และในระหว่างการเก็บ ผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่ในถุง Nylon/LLDPE ซึ่งป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี โดยมีค่า WVTR เท่ากับ 8 กรัม/ตารางเมตร/วัน (บริษัท สตรองแพ็ค จำกัด (มหาชน)) และภายในตู้เก็บผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งไม่มีกระแสลมที่เป็นสาเหตุของการสูญเสียความชื้น (Fennema,1975) จึงพบว่าถึงแม้จะเก็บผลิตภัณฑ์นานถึง 25 สัปดาห์ การสูญเสียน้ำหนักหลังแช่เยือกแข็งก็ไม่แตกต่างจากจุดเริ่มต้น

5.1.2 การสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง

การสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง จากตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.59 พบว่า ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บ

มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง ($p \leq 0.05$) โดยชิ้นมะม่วงที่ผ่านการเตรียมมะม่วงโดยแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอีริทอร์บิก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการแช่เยือกแข็ง จะสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งน้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.24 และตารางที่ 4.60 เนื่องจาก Ca^{2+} จะจับกับกรดเพคตินิกเป็นแคลเซียมเพคติเนต ทำให้เซลล์ยึดติดกันแน่นขึ้น การสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งจึงลดลง (Eskin และคณะ,1971 ; Fennema,1975) และเนื่องจากเกลือแคลเซียมจะช่วยลดปริมาณน้ำภายในเซลล์ที่จะถูกแช่เยือกแข็งลง โดยทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น (Olorunda และ Tung,1984) ส่วนผลของอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บ พบว่า ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จะสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งน้อยกว่าชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ที่ทุกระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.16) เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่า air blast freezer มาก จึงผ่านจุดเยือกแข็งไปอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดเล็กกว่า และทำลายเนื้อเยื่อน้อย เมื่อละลายน้ำแข็งจะสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า (Fennema และคณะ,1973 ; ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นการสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งจะมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่คงที่จึงเกิดการตกผลึกใหม่ โดยผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งจึงทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อ สูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์จึงเกิดขึ้นเรื่อย ๆ (Jul,1984) การสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งมากกว่าของชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็ง เนื่องจากชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้มีความแน่นเนื้อน้อยกว่า เมื่อเกิดผลึกน้ำแข็ง จึงทำลายเนื้อเยื่อของมะม่วงมากขึ้น เมื่อละลายน้ำแข็งจะสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อมาก

5.1.3 ความแน่นเนื้อ

ปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง คือ ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.59 โดยชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จะมีความแน่นเนื้อมากกว่าชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.25 และตารางที่ 4.61 เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่เยือกแข็งที่เร็วกว่า air blast freezer ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่า จึงทำลายเซลล์น้อย (Fennema และคณะ,1973 ; ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527) ส่วนชิ้นมะม่วงที่มีการเตรียมมะม่วงโดยแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอีริทอร์บิก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีความแน่นเนื้อมากกว่าชิ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.26 และตารางที่ 4.62)

เพราะ Ca^{2+} จะช่วยรักษาโครงสร้างของผนังเซลล์ในผลไม้โดยจะจับกับกรดเพคตินิกเป็นแคลเซียมเพคติเนต ทำให้เซลล์ยึดติดกันแน่นขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ Ca^{2+} จึงมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (Eskin และคณะ,1971 : Fennema ,1975 ; Poovaiah,1986) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ความแน่นเนื้อจะลดลง ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.17 ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นใหม่ซึ่งมีขนาดใหญ่และการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง (Jul,1984) และพบว่าชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง

5.2 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์

5.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บไม่มีผลต่อ pH ของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) แต่พบว่า pH เฉลี่ยของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง มีค่าเพิ่มขึ้นจากชิ้นมะม่วงที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งเล็กน้อย (ตารางที่ 4.30 และตารางที่ 4.66)

5.2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (กรดซิตริก)

การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 โดยชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง จะมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.30 และตารางที่ 4.66) อาจจะเกิดการสูญเสียกรดจากชิ้นมะม่วงระหว่างแช่ชิ้นมะม่วงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

5.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ

การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 โดยชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำน้อยกว่าชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.30 และตารางที่ 4.66) เนื่องจากอาจเกิดการสูญเสียน้ำตาลและกรดในขั้นตอนการแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอิริทอร์บิก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

5.2.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 โดยชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง จะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่า ชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.30 และตารางที่

4.66) เนื่องจากอาจเกิดการสูญเสียน้ำตาลในขั้นตอนการแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอิริทอร์บิก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

5.2.5 ระดับการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเกิดสีน้ำตาล คือ ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมระหว่างการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 โดยชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer จะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.31 และตารางที่ 4.67) เพราะการแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงด้วย air blast freezer ใช้เวลานานกว่า และเป็นการแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมเย็น โอกาสที่ชิ้นมะม่วงจะสัมผัสกับออกซิเจนจึงมีมาก ในขณะที่การแช่เยือกแข็งชิ้นมะม่วงด้วย cryogenic freezer ชิ้นมะม่วงจะไม่สัมผัสกับออกซิเจน เพราะใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็น (Fennema,1975) ชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งจะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง (รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.18) เพราะขั้นตอนการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง จะแช่ชิ้นมะม่วงในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอิริทอร์บิก ซึ่งช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากกรดซิตริกจะไปลด pH ทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (Eskin และคณะ,1971) ในขณะที่กรดอิริทอร์บิกมีสมบัติเหมือนกรดแอสคอร์บิก คือ เป็นตัวรีดิวซ์ ทำหน้าที่รีดิวซ์ o - quinone กลับไปเป็น o - diphenol ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสีใหม่ (วรรณา ตุลยธัญ,2528) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ระดับการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เอนไซม์ยังสามารถทำงานได้อย่างช้า ๆ (Ciobanu และคณะ,1976) การเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง จะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลค่อนข้างคงที่ ส่วนระดับการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.18)

5.2.6 ปริมาณวิตามินซี

ปัจจัยที่มีผลต่อวิตามินซี คือ ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จะมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.32 และตารางที่ 4.68) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer ใช้เวลาน้อยกว่า และมีไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็น

ชิ้นมะม่วงไม่สัมผัสกับออกซิเจน (Fennema,1975) โอกาสที่กรดแอสคอร์บิกจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงมีน้อยกว่าในกรณีแช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ซึ่งชิ้นมะม่วงจะสัมผัสกับออกซิเจนและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Fennema ,1975) ส่วนชิ้นมะม่วงที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง จะมีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.33 และตารางที่ 4.69) เนื่องจากมีการสูญเสียวิตามินซีในช่วงการแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอีริทอร์บิก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการแช่เยือกแข็ง และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นาน 25 สัปดาห์ ปริมาณวิตามินซีในชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งจะลดลงจาก 1.85 mg/100g เหลือ 0.28 mg/100g หรือลดลงประมาณ 85 % (รูปที่ 4.7) ส่วนชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็งจะลดลงจาก 7.68 mg/100g เป็น 1.68 mg/100g หรือลดลง ประมาณ 78% (รูปที่ 4.19) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซี ทำให้มีการสลายตัวของวิตามินซี (Fennema และคณะ,1973) และสอดคล้องกับการทดลองของ Marin และคณะ (1993) ที่พบว่าระหว่างการเก็บมะม่วงชิ้นแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 4 เดือน ปริมาณวิตามินซีจะลดลงตามลำดับ ปริมาณวิตามินซีในชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งจะลดลงมากกว่า เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้มีความแน่นเนื้อน้อยกว่ามะม่วงโชคอนันต์ โอกาสที่ภายในเนื้อเยื่อจะสัมผัสกับออกซิเจนจึงมากกว่า และเมื่อละลายน้ำแข็งจะสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อมากกว่า จึงสูญเสียวิตามินซีในช่วงนี้มากกว่า

5.2.7 ปริมาณ β-carotene

จากตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.65 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ β-carotene คือ ระยะเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ปริมาณ β-carotene จะลดลง ($p \leq 0.05$) โดยในชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งจะลดลงจาก 2.30 mg/100g เหลือ 1.97 mg/100g หรือลดลงประมาณ 14% เมื่อเก็บนาน 25 สัปดาห์ (รูปที่ 4.8) ส่วนชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็งจะลดลงจาก 2.62 mg/100g เหลือ 2.27 mg/100g หรือลดลงประมาณ 13% (รูปที่ 4.20) เนื่องจาก β-carotene เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการกระตุ้นของแสง และเอนไซม์ (Fennema,1976 ; Richardson และ Finey,1985) และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Marin และคณะ (1992) ที่พบว่าปริมาณ β-carotene จะลดลงในระหว่างการเก็บมะม่วงชิ้นแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 4 เดือน ปริมาณ β-carotene ในชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งจะลดลงมากกว่า เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้มีความแน่นเนื้อน้อยกว่ามะม่วงโชคอนันต์ โอกาสที่ภายในเนื้อเยื่อจะสัมผัสกับออกซิเจนจึงมากกว่า และเมื่อละลายน้ำแข็งจะสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อมาก จึงสูญเสีย β-carotene ในช่วงนี้มากกว่า

5.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

5.3.1 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดคือชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.35 และตารางที่ 4.71 ชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จะมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดมากกว่าที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.36 และตารางที่ 4.72) เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่เยือกแข็งที่เร็วมาก ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก จึงทำลายเซลล์จุลินทรีย์น้อยกว่ากรณีที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ซึ่งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่กว่า และการแช่เยือกแข็งที่เร็วทำให้จุลินทรีย์ผ่านช่วงวิกฤติ คือช่วงอุณหภูมิ -4 ถึง -10 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว จึงทำลายจุลินทรีย์น้อยกว่า (Frazier และ Westhoff,1988) การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง โดยแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอิริทอร์บิก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลดลง ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.37 และตารางที่ 4.73) เนื่องจากขั้นตอนการล้างด้วยน้ำเปล่าหลังแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อาจจะช่วยล้างจุลินทรีย์บางส่วนออกไป และเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นปริมาณจุลินทรีย์จะลดลง ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.21 เนื่องจากการแช่เยือกแข็งเป็นการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจนไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และน้ำในอาหารส่วนใหญ่กลายเป็นผลึกน้ำแข็งทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ลดลง (Ciobanu และคณะ,1976) ขณะเดียวกันน้ำภายในเซลล์จุลินทรีย์ก็ถูกเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งด้วย สารต่างๆ ภายในเซลล์มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย (Frazier และ Westhoff,1988) และพบว่า ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สับปะรดเยือกแข็ง ซึ่งกำหนดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ไว้ไม่เกิน 3.0×10^6 โคโลนีต่อกรัม

5.3.2 จำนวนยีสต์และรา

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณยีสต์และรา คือ ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.35 และตารางที่ 4.71 โดยชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็ง cryogenic freezer มีจำนวนยีสต์และรามากกว่าที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.38 และตารางที่ 4.74) ส่วนชิ้นมะม่วงที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งมีจำนวนยีสต์และราลดลง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.39 และตารางที่ 4.75 และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น จำนวนยีสต์และราจะลดลงตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.22 ด้วยเหตุผลเดียวกับข้อ 5.3.1

5.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

5.4.1 สี

ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมระหว่างการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บมีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านสี ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.41 ชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer มีคะแนนการยอมรับด้านสีสูงกว่าที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.42 เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer ใช้เวลาน้อยกว่า และชิ้นมะม่วงไม่สัมผัสกับออกซิเจน (Fennema,1975) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจึงน้อยกว่า ชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งที่เตรียมโดยแช่ในสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอิริทอร์บิก มีคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่าที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.11 เนื่องจากสารละลายผสมของกรดซิตริกและกรดอิริทอร์บิก ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น คะแนนการยอมรับด้านสีจะลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น โดยชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง จะมีคะแนนการยอมรับด้านสีลดลงน้อยกว่าที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ส่วนในชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็ง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านสี คือ ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.77 โดยชิ้นมะม่วงโชคอนันต์ที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer มีคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่าที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.78 ชิ้นมะม่วงโชคอนันต์แช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็งจะมีคะแนนการยอมรับด้านสีมากกว่าที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.79 และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น คะแนนการยอมรับด้านสีจะลดลง ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.23 ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับในกรณีของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง

5.4.2 กลิ่นรส

คะแนนการยอมรับของชิ้นมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็ง ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 4.41 และตารางที่ 4.77 เนื่องจากบรรจุผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศ และเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ภาวะแช่เยือกแข็ง จะช่วยรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ดี (Fennema และคณะ,1973)

5.4.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านสีด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็ง

(p>0.05) ดังตารางที่ 4.41 และตารางที่ 4.77 ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสมากกว่าชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.43 และตารางที่ 4.78 เพราะการแช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer จะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก จึงมีการทำลายเนื้อเยื่อน้อยกว่า มีการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งน้อยกว่า และมีความแน่นเนื้อมากกว่าชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ที่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และทำลายเนื้อเยื่อมาก (Fennema และคณะ,1973 ; ประสิทธิ์ อติวีระกุล,2527) ชิ้นมะม่วงแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.44 และตารางที่ 4.79 เพราะการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ Ca^{2+} ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น (Eskin และคณะ,1971 : Fennema, 1975) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น คะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจะลดลง ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.23 เนื่องจากผลึกน้ำแข็งจะมีการตกผลึกใหม่ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของผลึกน้ำแข็ง จึงทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลายมากขึ้น (Jul,1984) คะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่เพิ่มขึ้นของมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ ทั้งในกรณีที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer และกรณีของมะม่วงที่ผ่านการเตรียมก่อนแช่เยือกแข็ง สอดคล้องกับความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้นที่วัดด้วย texturometer เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์คะแนนการยอมรับด้านลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับความแน่นเนื้อที่ลดลงเช่นกัน

5.4.4 ความชอบรวม

ชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็ง การเตรียมมะม่วงก่อนการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.41 และตารางที่ 4.77 ชิ้นมะม่วงที่แช่เยือกแข็งด้วย cryogenic freezer มีคะแนนความชอบรวมมากกว่าที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast freezer ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.43 และตารางที่ 4.78 และชิ้นมะม่วงที่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง มีคะแนนความชอบรวมมากกว่าที่ไม่ผ่านการเตรียมมะม่วงก่อนแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.44 และตารางที่ 4.79 เพราะมีคะแนนการยอมรับด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่า และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น คะแนนความชอบรวมจะลดลง($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.23 เนื่องจากคะแนนการยอมรับด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง