บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

เงาะแช่แข็ง

1. สมบัติของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์สมบัติของเงาะพันธุ์โรงเรียน พบว่า มี pH 4.80±0.01 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ 0.29±0.01% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 19.6±0.1 °Brix ความแน่นเนื้อ 9.68±0.98 นิวตัน และปริมาณวิตามินซี 30.60±1.40 mg/100 g ปริมาณวิตามินซีที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับวิตามินซีที่อ้างไว้ในวารสารอ้างอิง

2. เวลาที่ใช้แช่แข็งที่เหมาะสม

การศึกษาเวลาที่ใช้แช่แข็งสำหรับเงาะพันธุ์โรงเรียนขนาด 35-40 ผลต่อกิโลกรัม ที่ผ่านการปอกเปลือกและคว้านเมล็ด บรรจุในถุง HDPE โดยใช้เครื่องแช่แข็ง 2 ชนิด คือ air blast freezer และ plate freezer กำหนดอุณหภูมิตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแช่แข็งแต่ละชนิดให้คงที่ ที่อุณหภูมิต่ำสุดของเครื่องเท่ากับ -30 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาที่ใช้แช่แข็งเงาะด้วย plate freezer น้อยกว่าเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer (ตารางที่ 4.2) เนื่องจาก plate freezer เป็นวิธีแช่แข็งโดยให้วัตถุดิบสัมผัสกับแผ่นโลหะเย็น แล้วเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุดิบและแผ่นโลหะเย็น เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน ส่วน air blast freezer เป็นเครื่องแช่แข็งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการพา ซึ่งขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (k) ในช่วงแรกของการแช่แข็งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะลดลงเร็วกว่าตัวอย่างที่แช่แข็งด้วย plate freezer แต่เมื่อน้ำในผลิตภัณฑ์เริ่มเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งอุณหภูมิในเนื้อผลไม้จะลดลงช้ากว่าตัวอย่างที่แช่แข็งด้วย plate freezer เนื่องจากค่า k ที่ลดลงเมื่อน้ำเปลี่ยนไปเป็นผลึกน้ำแข็ง การถ่ายเทความร้อนจึงเกิดได้ช้าลง (18) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อดุลย์ ศิริจันทร์ (32) ซึ่งศึกษาวิธีแช่แข็งปลาหมึกกระดองด้วย still air freezer air blast freezer และ plate freezer

3. ผลของสารละลายที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเงาะ

สารละลายที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ในงานวิจัย คือ สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิค แช่เนื้อเงาะในสารละลายผสมนี้แล้ววัดการเกิดสีน้ำตาลโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่สกัดจากเนื้อผลไม้ด้วยเอทานอล 60% ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ผลที่ได้คือการใช้กรดซิตริกและ/หรือกรดแอสคอร์บิคไม่ให้ค่าการดูดกลืนแสงต่างจาก

ตัวอย่างที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (ตารางที่ 4.4) แม้จะทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงแล้วก็ตาม ค่าการดูดกลืนแสงก็ไม่สูงขึ้น (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเงาะเป็นผลไม้ที่มีสารประกอบ phenolic และ polyphenol oxidase อยู่น้อย โดยทราบจากการทดลองเบื้องต้นได้ทดลองสกัด polyphenol oxidase จากเงาะแล้วให้ทำปฏิกิริยากับ catechol พบว่า ต้องทิ้งให้เกิดปฏิกิริยานานถึง 8 ชั่วโมง จึงจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นในสารละลาย ในขณะที่แอปเปิ้ลใช้เวลาเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพียง 5 นาทีเท่านั้น นั่นคือ ในเนื้อเงาะมีปริมาณ polyphenol oxidase น้อยเมื่อเทียบกับ apple ที่มีน้ำหนักเท่ากัน ซึ่งเป็นผลให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเงาะเกิดได้ช้ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแปรรูปเป็นผลไม้แช่แข็งซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จนถึง -18 องศาเซลเซียส การทำงานของ polyphenol oxidase จะถูกยับยั้ง ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเงาะจึงเกิดช้ามาก ทำให้ไม่พบความแตกต่างของสีน้ำตาลในเนื้อเงาะระหว่างตัวอย่างที่ใช้และไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ดังนั้นในการผลิตเงาะแช่แข็งจึงสามารถข้ามขั้นตอนการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้

4. ผลของสารละลายเกลือแคลเซียมต่อความแน่นเนื้อ

ในขั้นตอนการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสหรือความแน่นเนื้อนี้ ได้ศึกษาผลของสารละลายเกลือแคลเซียม โดยศึกษาชนิดของเกลือแคลเซียม คือ แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตต ความเข้มข้นของสารละลายเกลือแคลเซียม และเวลาแช่ในสารละลาย พบว่า ชนิดของเกลือแคลเซียมมีผลต่อความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยแคลเซียมคลอไรด์จะให้ความแน่นเนื้อดีกว่าแคลเซียมแลคเตต (ตารางที่ 4.7) และแคลเซียมแลคเตตเมื่อใช้ในระดับความเข้มข้น 2% เนื้อเงาะจะมีลักษณะเหมือนยางติดฟัน ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จากผลของอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเกลือแคลเซียมและความเข้มข้นของสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ต่อความแน่นเนื้อของเงาะ พบว่า เมื่อใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์ความแน่นเนื้อของเงาะจะดีกว่าเมื่อใช้แคลเซียมแลคเตตที่ทุกระดับความเข้มข้นของเกลือแคลเซียม (รูปที่ 4.3) และจากอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเกลือแคลเซียมและระยะเวลาที่แช่ในสารละลาย พบว่า ความแน่นเนื้อของเงาะแช่แข็งที่แช่ในสารละลายนาน 10 นาทีสูงกว่าความแน่นเนื้อที่ 5 นาทีที่ทุกระดับความเข้มข้นของเกลือแคลเซียม (รูปที่ 4.4) ดังนั้นภาวะที่ให้ความแน่นเนื้อที่ดีที่สุด คือ การแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 10 นาที โดย Ca^{2+} จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลของ pectinic acid เกิด Ca-pectinate gel ทำให้เงาะมีเนื้อสัมผัสดีกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (33,34)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยแช่เงาะในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นต่างๆกันตั้งแต่ 0-2.0 % ไม่ให้ความแตกต่างกันทั้งในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติ (ตารางที่ 4.8) แต่จากการวัดความแน่นเนื้อด้วย texturometer พบว่ามีความแตกต่างกัน ทำให้สรุปได้ว่าการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 10 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสม

ที่สุดในการปรับปรุงความแน่นเนื้อ โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบทางเครื่องมือแทนการทดสอบทางประสาทสัมผัส สอดคล้องกับงานวิจัยของ Main และคณะ (21) และไพรัตน์ (5) ซึ่งศึกษาผลการใช้แคลเซียมต่อความแน่นเนื้อของสตรอเบอรี่และมังคุดแช่แข็ง

5. ผลของวิธีการปรับปรุงรสชาติของเงาะแช่แข็ง

การปรับปรุงรสชาติของเงาะแช่แข็งด้วยน้ำเชื่อมนั้น น้ำเชื่อมจะช่วยเพิ่มรสชาติของผลิตภัณฑ์ได้ โดยไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงรสชาติหลังละลายน้ำแข็ง ซึ่งอาจใช้ในลักษณะเนื้อผลไม้ในน้ำเชื่อมหรือผสมน้ำตาลทรายก็ได้ (22) โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อมตั้งแต่ 0-300 กรัมต่อลิตร และรูปแบบการใช้น้ำเชื่อม 4 รูปแบบ คือ แช่ในน้ำเชื่อม 10 นาที เนื้อเงาะในน้ำเชื่อม อัตราส่วนระหว่างเนื้อต่อน้ำเท่ากับ 2:1 4:1 และ 6:1 พบว่า รูปแบบของการใช้น้ำเชื่อมมีผลต่อสีและลักษณะเนื้อสัมผัส และความเข้มข้นของน้ำเชื่อมมีผลต่อรสหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.11-4.13) โดยรูปแบบที่เหมาะสมคือ การแช่ในน้ำเชื่อม 10 นาที แต่จากผลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม พบว่า การแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 0 100 และ 200 กรัมต่อลิตร จะมีรสหวานไม่แตกต่างกันและอยู่ในเกณฑ์หวานพอเหมาะ แต่ถ้าแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร จะมีรสหวานมากเกินไป ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้น้ำเชื่อมเพื่อปรับปรุงรสชาติของเงาะแช่แข็ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเงาะมีความหวานเพียงพอที่จะช่วยให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ไม่จืดชืดหลังน้ำแข็งละลาย

6. ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเงาะแช่แข็งระหว่างเก็บ

จากผลการทดลองในขั้นตอน 1.3-1.5 พบว่า วิธีการเตรียมเงาะก่อนแช่แข็งที่เหมาะสม คือ การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1% นาน 10 นาที ดังนั้น ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง คือ air blast freezer และ plate freezer ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ คือ 0 และ 1% และระยะเวลาเก็บ 0 6 12 18 และ 24 สัปดาห์ โดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

6.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเงาะแช่แข็ง

6.1.1 การสูญเสียน้ำหนักของเงาะแช่แข็ง

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเงาะแช่แข็งระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ระยะเวลาเก็บและอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้งสองมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก โดยเงาะที่แช่แข็งด้วย plate freezer จะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer (รูปที่ 4.5) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น การสูญเสียน้ำหนักก็เพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 4.5) เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จะสูญเสียในรูปของความชื้น (18) ดังนั้นเมื่อแช่แข็งผลิตภัณฑ์ด้วย air blast freezer ซึ่งอาศัยลมเย็นเป็นตัวกลางสำหรับระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ ลมเย็นที่

ใช้มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำ (18) จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง พัดผ่านผลิตภัณฑ์และรับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ได้ดี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งด้วย plate freezer ซึ่งอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นโลหะเย็นให้กับผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากเครื่องแช่แข็งทุกเครื่องจะมีการขึ้นลงของอุณหภูมิเนื่องจากการทำงานของ compressor ทำให้มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องแช่แข็งต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ น้ำแข็งจึงระเหิดออกจากผลิตภัณฑ์เกิดเป็นเกล็ดน้ำแข็งเกาะที่ถุง น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จึงลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น (18)

6.1.2 การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งของเงาะแช่แข็ง

ในการศึกษาการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งของเงาะแช่แข็ง พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง และระยะเวลาเก็บมีผลต่อการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อ (ตารางที่ 4.15) เงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ให้การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อมากกว่า plate freezer (ตารางที่ 4.15) เนื่องจาก air blast freezer มีอัตราเร็วของการแช่แข็งช้ากว่า plate freezer ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งช้า เป็นผลให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทิ่มแทงเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ จึงเกิดการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์หลังน้ำแข็งละลายสูงกว่า plate freezer ซึ่งมีอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วกว่า และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ผลึกน้ำแข็งภายในผลิตภัณฑ์เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (25) เป็นผลให้เนื้อเยื่อถูกทำลาย การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของเงาะจึงเกิดขึ้นเรื่อย ๆ (รูปที่ 4.6)

6.1.3 ความแน่นเนื้อ

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของเงาะแช่แข็ง พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ แต่การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ให้ความแน่นเนื้อดีกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.7) เนื่องจาก pectin เมื่อเกิดปฏิกิริยา deesterification ด้วย pectinesterase จะได้ pectinic acid และ methanol ถ้าในผลิตภัณฑ์มีแคลเซียมอยู่ แคลเซียมจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ pectinic acid ได้ Ca-pectinic gel (33,34) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อดีกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นความแน่นเนื้อจะลดลง (รูปที่ 4.7) ซึ่งเป็นผลจากเนื้อเยื่อผลิตภัณฑ์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นและจากการเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง ขณะเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ทำให้เงาะมีความแน่นเนื้อลดลง (25)

6.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของเงาะแช่แข็ง

6.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง(pH)

ความเป็นกรด-ด่างของเงาะแช่แข็ง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 4.18) ไม่ว่าจะใช้เครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บต่างกันก็ตาม

6.2.2 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (ในรูปกรดซิตริก)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ คือ ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.18) โดยการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็ง จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดต่ำกว่า(ตารางที่ 4.19) อาจเนื่องจากเกิดการแพร่ของกรดในเนื้อเยื่อเงาะออกสู่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และน้ำจากสารละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเงาะ ทำให้ปริมาณกรดในผลิตภัณฑ์ลดลง และตลอดระยะเวลาเก็บ พบว่าปริมาณกรดไม่คงที่ โดยมีค่าขึ้นลงอยู่รอบปริมาณกรดที่ 0.25% ซึ่งน้อยกว่าปริมาณกรดเริ่มต้นในเนื้อเงาะสด อาจเนื่องมาจากการสูญเสียกรดออกจากเนื้อเยื่อระหว่างการปอกเปลือกและคว้านเมล็ด และในระหว่างรอการแช่แข็ง (รูปที่ 4.8)

6.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ระยะเวลาเก็บ อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.18) โดยเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมากกว่า plate freezer ที่ทุกความเข้มข้นของสารละลายแคเซียมคลอไรด์และระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.9 และ 4.10) เนื่องจากเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า (รูปที่ 4.5) ส่วนเงาะที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้น้ำน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.9) เนื่องจากเกิดการแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ในน้ำจากผลิตภัณฑ์ออกสู่สารละลาย และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.5) ดังนั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำจึงเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.10)

6.2.4 ระดับการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเงาะแช่แข็ง คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.18) โดยเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer จะเกิดสีน้ำตาลมากกว่า plate freezer ที่ทุกความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.11) เนื่องจาก air blast freezer ใช้เวลาแช่แข็งนานกว่าจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า และการแช่แข็งวิธีนี้อาศัยลมเย็นเป็นตัวกลางสำหรับระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ โอกาสที่ออกซิเจนจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์จึงมีมาก ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงมีโอกาสเกิดได้มากกว่าในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งด้วย plate freezer และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ระดับการเกิดสีน้ำตาลจะลดลงที่ทุกชนิดของเครื่องแช่แข็ง (รูปที่ 4.11 และ 4.12) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการ

เกิดสีน้ำตาลได้ โดยการเกิด chelation ของ Ca^{2+} กับ amino acid ทำให้ amino acid ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ aldehyde group ใน invert sugar และปฏิกิริยา oxidation ของกรดแอสคอร์บิค ต้องผ่าน intermediate ที่มี carbonyl group หลาย group ซึ่งสมบัตินี้เองที่อาจทำให้ intermediate เหล่านี้สามารถ chelate กับ Ca^{2+}ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร เช่นเดียวกับ chelating agent อื่น ๆ (34) จึงทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยกรดแอสคอร์บิคไม่สามารถดำเนินไปได้ นอกจากนี้ Cl^{-} ยังสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (36) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ในตัวอย่างที่ไม่ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระดับการเกิดสีน้ำตาลค่อนข้างคงที่ ส่วนในตัวอย่างที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลลดลงใน 12 สัปดาห์แรกแล้วมีแนวโน้มคงที่ในสัปดาห์ถัดไป (รูปที่ 4.12)

6.2.5 ปริมาณวิตามินซีที่เหลือในเงาะแช่แข็ง

อิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อปริมาณวิตามินซีที่เหลือในเงาะแช่แข็ง (ตารางที่ 4.18) โดยเงาะที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็ง จะมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ทุกระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.13) เพราะวิตามินซีเป็นสารที่ไม่เสถียร และละลายได้ในน้ำ โอกาสที่วิตามินซีจะสูญเสียเนื่องจากการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จึงเป็นไปได้ง่าย และพบว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ปริมาณวิตามินซีลดลง (รูปที่ 4.13) อาจเกิดจากปฏิกิริยา oxidation และการสลายตัวของวิตามินซีเอง เพียงแต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดช้า ๆ เมื่อเทียบกับการแปรรูปด้วยวิธีอื่น เช่น การใช้ความร้อน

6.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์

6.3.1 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการทดลอง พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือในผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.21) โดยเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer จะมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์หลังแช่แข็งเหลืออยู่น้อยกว่า plate freezer (ตารางที่ 4.22) เนื่องจาก plate freezer มีอัตราการแช่แข็งเร็วกว่า air blast freezer จึงเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่า ทำให้เซลจุลินทรีย์ถูกทำลายน้อยกว่า air blast freezer ซึ่งเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่กว่า ทำให้เซลจุลินทรีย์ฉีกขาดได้มากกว่า (18) การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็งเป็นการกำจัดเอาจุลินทรีย์ออกไปได้บางส่วน จึงมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าเงาะที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.23) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ลดลง (รูปที่ 4.14) เนื่องจาก การแช่แข็งทำให้น้ำภายในเซลของจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายต่าง ๆ ในเซลมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญ

เติบโตได้ (25) จุลินทรีย์บางส่วนจึงตายไปและบางส่วนถูกระงับการเจริญเติบโตด้วยค่า a_w ที่ต่ำลงและอุณหภูมิที่เย็นจัดในภาวะแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส โดยจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้พบมากกว่า $3*10^5$ โคโลนีต่อกรัมอาหาร (6)

6.3.2 จำนวนเชื้อราและยีสต์

ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อจำนวนเชื้อราและยีสต์ที่เหลือในผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.21) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และด้วยเหตุผลเดียวกันทำให้เงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer มีจำนวนเชื้อราและยีสต์เหลืออยู่น้อยกว่า (ตารางที่ 4.24) การแช่เงาะในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บทำให้เชื้อราและยีสต์ลดลงได้ (ตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.15) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 6.3.1

6.3.3 ปริมาณโคลิฟอร์ม

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโคลิฟอร์มในเงาะแช่แข็ง คือ การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้งสอง (ตารางที่ 4.21) โดยการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะมีปริมาณโคลิฟอร์มเหลืออยู่น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ทุกระยะเวลาเก็บ และเมื่อเก็บนานขึ้น ปริมาณโคลิฟอร์มก็ลดลง (รูปที่ 4.16) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 6.3.1 โดยจำนวนโคลิฟอร์มที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสับปะรดแช่เยือกแข็ง ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้มีมากกว่า 100 ตัว _E. coli_ ต่อกรัม (6)

6.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของเงาะแช่แข็ง

6.4.1 สี

ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเก็บนานขึ้น พบว่า คะแนนการยอมรับทางด้านสีลดลง (รูปที่ 4.17) แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและเป็นที่ยอมรับว่าสีคล้ายเงาะสด

6.4.2 กลิ่น

กลิ่นของเงาะแช่แข็ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.27) อาจเป็นเพราะว่า เงาะเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นอ่อนอยู่แล้ว ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถแยกได้ว่ามีความแตกต่างกัน และคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นตลอดระยะเวลาเก็บอยู่ในเกณฑ์ดี เป็นที่ยอมรับว่ากลิ่นคล้ายเงาะสด

6.4.3 รสชาติ

เงาะที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็ง มีคะแนนการยอมรับทางรสชาติด้อยกว่าเงาะแช่แข็งที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตาราง

ที่ 4.28) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์มีรสฝาด และเมื่อแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% ซึ่งเป็นสารละลายที่เจือจาง อาจทำให้น้ำตาลหรือกรดที่เป็นตัวให้รสชาติละลายออกมาในสารละลายเกลือแคลเซียมได้ ทำให้มีรสชาติด้อยกว่า คะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติจึงลดลง แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และเมื่อเก็บนานขึ้น คะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติลดลง (รูปที่ 4.18) แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

6.4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

คะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสของเงาะแช่แข็งด้วย plate freezer ดีกว่าเงาะที่แช่แข็งด้วย air blast freezer (ตารางที่ 4.29) และเมื่อเก็บนานขึ้นคะแนนการยอมรับจะลดลง (รูปที่ 4.19) คือ การแช่แข็งด้วย plate freezer ให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก มีการทำลายเซลเนื้อเยื่อน้อยกว่า มีการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อน้อยกว่า และมีความแน่นเนื้อดีกว่า จึงได้รับการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสมากกว่า air blast freezer และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ผลึกน้ำแข็งจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ทำให้เซลเนื้อเยื่อถูกทำลายระหว่างเก็บ ความแน่นเนื้อลดลง คะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสจึงลดลงตามด้วย

ลิ้นจี่แช่แข็ง

1. สมบัติของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์สมบัติของลิ้นจี่พันธุ์โฮงฮวย พบว่ามี pH 4.32±0.11 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (กรดซิตริก) 0.46±0.01% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ 17.0 ±0.1 °Brix ความแน่นเนื้อ 12.24±1.32 นิวตัน และปริมาณวิตามินซี 53.68±1.66 mg/100g ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณวิตามินซีที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าปริมาณวิตามินซีที่ได้อ้างไว้ในวารสารปริทัศน์ซึ่งมีค่าประมาณ 167 mg/100g(11) อาจเนื่องมาจากค่าปริมาณวิตามินซีที่ให้ไว้ในวารสารปริทัศน์เป็นค่ารวม ๆ ไม่ได้เฉพาะเจาะจงลงไปว่าเป็นลิ้นจี่พันธุ์ใด และจากความแก่ของวัตถุดิบที่ต่างกัน

2. ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งที่เหมาะสม

2.1 ลิ้นจี่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ด

ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งที่เหมาะสมสำหรับลิ้นจี่พันธุ์โฮงฮวยขนาด 40-45 ผลต่อกิโลกรัมที่ผ่านการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดที่บรรจุในถุง HDPE ด้วยเครื่องแช่แข็ง 3 ชนิด คือ air blast freezer plate freezer และ cryogenic freezer กำหนดอุณหภูมิตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแช่แข็งแต่ละชนิดให้คงที่ที่อุณหภูมิต่ำสุดของเครื่อง โดย air blast freezer และ plate freezer มีอุณหภูมิต่ำสุดของเครื่องเท่ากับ -30 องศาเซลเซียส ส่วน cryogenic freezer มีอุณหภูมิต่ำสุดของเครื่องเท่ากับ -100 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ -18 องศาเซลเซียส พบว่า ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer ใช้เวลาแช่แข็งน้อยที่สุด และลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย plate freezer

ใช้เวลาแช่แข็งน้อยกว่า air blast freezer (ตารางที่ 4.31) เนื่องจาก cryogenic freezer มีไนโตรเจนเหลวอุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียสเป็นสารให้ความเย็น อุณหภูมิต่ำสุดของเครื่อง -100 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถระบายความร้อนและลดอุณหภูมิของลิ้นจี่ลงได้อย่างรวดเร็วมาก ส่วนลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ใช้เวลาแช่แข็งมากกว่า plate freezer ทั้งที่มีอุณหภูมิต่ำสุดของเครื่องเท่ากัน ด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 2 ของเงาะแช่แข็ง

2.2 ลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็ง

ทดลองเช่นเดียวกับลิ้นจี่ปอกเปลือกแช่แข็ง แต่ใช้เครื่องแช่แข็ง 2 ชนิด คือ air blast freezer และ cryogenic freezer ไม่ใช้ plate freezer เนื่องจากวัตถุดิบเป็นผลไม้ทรงกลมรีรูปไข่ ไม่เหมาะสมสำหรับแช่แข็งด้วย plate freezer ประมาณเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลิ้นจี่และเวลา (รูปที่ 4.23 และ 4.24) จากกราฟดังกล่าวประมาณเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งด้วยเครื่อง air blast freezer ได้ 100 นาที (ตารางที่ 4.32) และเวลาที่ใช้แช่แข็งด้วยเครื่อง cryogenic freezer เท่ากับ 20 นาที (ตารางที่ 4.32) สาเหตุที่ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ใช้เวลาแช่แข็งมากกว่า cryogenic freezer อธิบายได้ดังข้อ 2.1

3. ภาวะการเตรียมลิ้นจี่ก่อนแช่แข็ง

3.1 ลิ้นจี่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ด

3.1.1 ผลของสารละลายที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลิ้นจี่

ในกรณีของเงาะนั้น สารละลายที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล คือ สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิค แต่ผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่า กรดทั้ง 2 ชนิดไม่ทำให้ระดับการเกิดสีน้ำตาลแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ใช้กรดเลย (ตารางที่ 4.4) ดังนั้นในกรณีของลิ้นจี่ จึงใช้เฉพาะกรดซิตริก ไม่ใช้กรดแอสคอร์บิค เนื่องจากกรดแอสคอร์บิคมีราคาแพงและไม่มีความแตกต่างเมื่อใช้สารตัวนี้ การใช้สารละลายกรดซิตริกเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในลิ้นจี่นั้น พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดซิตริกเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในเนื้อผลไม้มีค่าสูงขึ้นตามด้วยแทนที่จะมีค่าลดลงหรือคงที่ (ตารางที่ 4.35) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก เป็นการลด pH ของลิ้นจี่ โดย pH จะลดลงจาก 4.32 เป็น 3.89 เมื่อความเข้มข้นของกรดซิตริกเป็น 2% และแช่ในสารละลายนาน 10 นาที (ตารางที่ 4.35) anthocyanin ซึ่งมีอยู่ในเนื้อลิ้นจี่ จะอยู่ในรูป flavylium cation มากขึ้น เมื่อ pH น้อยกว่า 4 (37) ซึ่งanthocyanin ในรูปนี้จะมีสีแดง และเมื่อทิ้งเนื้อลิ้นจี่ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนานถึง 24 ชั่วโมงก็ไม่พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.34) ดังนั้นจึงไม่ใช้สารละลายกรดซิตริกยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในลิ้นจี่

3.1.2 ผลของสารละลายเกลือแคลเซียมต่อความแน่นเนื้อ

จากการทดลองใช้สารละลายเกลือแคลเซียม เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสนั้นพบว่า เกลือแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตตให้ผลไม่แตกต่างกันต่อความแน่นเนื้อของลิ้นจี่แช่แข็งหลังละลายน้ำแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.37) ดังนั้นจึงเลือกใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์มีราคาถูกกว่าและละลายน้ำได้ดีกว่าแคลเซียมแลคเตต เมื่อเลือกชนิดของเกลือแคลเซียมได้แล้ว จึงทดสอบผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติ โดยแช่ลิ้นจี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0 1.0 และ 2.0% นาน 5 และ 10 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนการยอมรับในแต่ละวิธี (ตารางที่ 4.41) แต่จากการวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง texturometer แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเวลาที่ใช้แช่ในสารละลายมีผลต่อความแน่นเนื้อของลิ้นจี่แช่แข็งหลังละลายน้ำแข็ง (ตารางที่ 4.37) โดยภาวะที่เหมาะสม คือ การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 10 นาที (ตารางที่ 4.38 และ 4.39) เนื่องจากแคลเซียมไอออนในลิ้นจี่จะไปจับกับ pectinic acid ที่เกิดจากปฏิกิริยา deesterification ของ pectin ได้ Ca-pectinate gel ทำให้โครงสร้างของผลไม้แน่นขึ้น (33,34) ดังนั้นจึงใช้ผลการวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง texturometer เป็นตัวเลือกภาวะที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส คือ แช่ลิ้นจี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 10 นาที

3.1.3 ผลของการใช้น้ำเชื่อมเพื่อปรับปรุงรสชาติของลิ้นจี่แช่แข็ง

วิธีการปรับปรุงรสชาติของลิ้นจี่แช่แข็งด้วยน้ำเชื่อม จะใช้การแช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นต่างกัน แล้วประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็ง (ตารางที่ 4.42) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลลิ้นจี่มีรสหวานมากอยู่แล้ว เมื่อแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 100 และ 200 กรัมต่อลิตรก็ไม่ช่วยให้รสหวานเพิ่มขึ้นกลับทำให้รสหวานลดลง แต่ถ้าแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร ลิ้นจี่จะมีรสหวานใกล้เคียงกับลิ้นจี่ที่ไม่แช่ในน้ำเชื่อม และคะแนนอยู่ในเกณฑ์หวานพอเหมาะ (ตารางที่ 4.42) ดังนั้นเมื่อไม่พบความแตกต่างหรือผลดีของการใช้น้ำเชื่อมต่อรสหวานและรสชาติของผลิตภัณฑ์ จึงไม่ใช้น้ำเชื่อมเพื่อปรับปรุงรสชาติของลิ้นจี่ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนและช่วยลดการสูญเสียวิตามินซีระหว่างแช่ในสารละลาย

3.2 ลิ้นจี่ทั้งเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวเปลือกลิ้นจี่จะเกิดการเปลี่ยนสีตลอดเวลา เนื่องจากการสูญเสียน้ำ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์ (14,17) เปลือกลิ้นจี่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แห้ง กรอบ และแตกง่าย ดังนั้นงานวิจัยขั้นตอนนี้จึงศึกษาวิธีรักษาสีเปลือกลิ้นจี่ให้ยังคงมีสีแดง ไม่แห้ง และไม่แตกง่าย โดยใช้สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก 10% กรดแอสคอร์บิค 1% และน้ำตาลทราย 10% กรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิคจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยา

การเกิดสีน้ำตาล โดยสารทั้ง 2 ตัวนี้ทำให้ pH ของเปลือกลิ้นจี่ลดลง และยับยั้งการทำงานของ polyphenol oxidase (17,36) นอกจากนี้ยังรักษา anthocyanin ในเปลือกลิ้นจี่ให้อยู่ในรูปที่มีสีแดง (17) ส่วนสารละลายน้ำตาลนั้นจะทำหน้าที่เป็น thickening agent น้ำเชื่อมจะเคลือบเปลือกของลิ้นจี่เพื่อลดการสูญเสียน้ำ (17) ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างออกซิเจนกับ polyphenol oxidase ที่เปลือกลิ้นจี่ ซึ่งช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้อีกด้วย สำหรับวิธีทดลองนั้นจะแช่ลิ้นจี่ทั้งเปลือกในสารละลายผสมนี้เป็นเวลาต่างๆ กัน คือ 0 30 60 และ 120 นาที เพื่อหาเวลาแช่ที่เหมาะสมซึ่งทำให้เปลือกลิ้นจี่ยังคงมีสีแดง จากนั้นจึงนำไปแช่แข็งด้วยเครื่องแช่แข็ง 2 ชนิด คือ air blast freezer และ cryogenic freezer จนมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส แล้วเคลือบด้วยสารละลายผสมอีกครั้งหลังแช่แข็ง โดยจุ่มลิ้นจี่แช่แข็งในสารละลายผสมนาน 5 วินาทีก่อนเก็บรักษา การเคลือบเปลือกลิ้นจี่อีกครั้งหลังแช่แข็งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ป้องกันออกซิเจนสัมผัสเปลือกลิ้นจี่ และช่วยให้เปลือกลิ้นจี่อยู่ในสภาพที่เป็นกรด เพื่อรักษา anthocyanin ให้อยู่ในรูปที่มีสีแดง (17) ส่วนการประเมินผลการทดลองนั้นจะดูจากสีเปลือกลิ้นจี่ โดยใช้การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสควบคู่กับผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

4.1 ลิ้นจี่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดแช่แข็ง

จากผลการทดลองข้อ 3.1 พบว่าวิธีการเตรียมลิ้นจี่ก่อนแช่แข็งที่เหมาะสม คือ การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 10 นาที ดังนั้นในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง คือ air blast freezer cryogenic freezer และ plate freezer ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0 และ 1% และระยะเวลาเก็บ 0 6 12 18 และ 24 สัปดาห์

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

4.1.1.1 การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของลิ้นจี่แช่แข็ง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของลิ้นจี่แช่แข็ง (ตารางที่ 4.44) เนื่องจากเก็บลิ้นจี่แช่แข็งในถุง HDPE และเก็บในกล่องโฟมและพันเทปโดยรอบ แล้วนำไปเก็บไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส กล่องโฟมจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำหนักจากผลิตภัณฑ์ออกสู่ภายนอกได้เป็นอย่างดี ดังนั้นปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปจึงไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น

4.1.1.2 การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อหลังละลายน้ำแข็งแล้ว พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ มีผลต่อการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของลิ้นจี่แช่แข็งหลังละลายน้ำแข็ง (ตารางที่ 4.44) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จะมีการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer และ plate freezer (รูปที่ 4.25) ทั้งนี้เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็วมาก จึงเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมาก การทำลายเซลเนื้อเยื่อจึงเกิดได้น้อยกว่าเครื่องแช่แข็งอีก 2 ชนิด (18) การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อจึงน้อยกว่า และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น การสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นมากใน 12 สัปดาห์แรก และค่อนข้างคงที่ในสัปดาห์ถัดไป (รูปที่ 4.25) เนื่องจากเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง (18)

4.1.1.3 ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของลิ้นจี่แช่แข็ง คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.44) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จะให้ความแน่นเนื้อสูงสุด รองลงมาคือ ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer และ plate freezer ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.46) เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็วมาก เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมาก การทำลายเซลเนื้อเยื่อจึงเกิดน้อยกว่า ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์จึงดีกว่า air blast freezer และ plate freezer ลิ้นจี่ที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็ง ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแน่นเนื้อดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.47) เนื่องจากแคลเซียมไอออนในลิ้นจี่จะไปจับกับ pectinic acid ที่เกิดจากปฏิกิริยา deesterification ของ pectin ได้ Ca-pectinate gel ทำให้โครงสร้างของผลไม้แน่นขึ้น (33,34) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ความแน่นเนื้อจะลดลง (รูปที่ 4.26) ซึ่งเป็นผลมาจากเนื้อเยื่อผลิตภัณฑ์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น และจากการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งขณะเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ -18 องศาเซลเซียส (18)

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

4.1.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง(pH)

ความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่แช่แข็ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.49) ไม่ว่าจะใช้เครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บต่างกันก็ตาม

4.1.2.2 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้

จากการทดลอง พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็งมีผลต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (ตารางที่ 4.49) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer จะมีปริมาณกรดมากกว่า plate freezer และ cryogenic freezer (ตารางที่ 4.50) อยู่ประมาณ 0.2% ซึ่งเป็นค่าที่ต่างกันไม่มากนัก และมีปริมาณกรดน้อยกว่าลิ้นจี่สด เนื่องจากเกิดการสูญเสียกรดออกจากเนื้อเยื่อในระหว่างการปอกเปลือกและคว้านเมล็ด และระหว่างรอการแช่แข็ง ส่วนปริมาณกรดที่แตกต่างกันเนื่องจากชนิดของเครื่องแช่แข็ง อาจเป็นผลมาจากวัตถุดิบมีความแตกต่างกัน

4.1.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ

ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% นาน 10 นาทีจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำน้อยกว่าลิ้นจี่ที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.51) อาจเนื่องจากการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้กรดหรือน้ำตาลหรือของแข็งที่ละลายได้ในน้ำละลายออกมาบางส่วน เป็นเหตุให้ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

4.1.2.4 ระดับการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในลิ้นจี่แช่แข็ง คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.49) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มากกว่า air blast freezer และ plate freezer (รูปที่ 4.28) เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็วมาก และวัตถุดิบไม่ได้บรรจุในถุง HDPE ก่อนแช่แข็ง เป็นผลทำให้น้ำระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ ผิวของผลิตภัณฑ์แห้งและมีสีคล้ำ ลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนแช่แข็งจะเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.28) เนื่องจากแคลเซียมสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการเกิด chelation ของ Ca^{2+} กับ amino acid ทำให้ amino acid ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ aldehyde group ใน invert sugar ต่อไปได้ และ Cl^{-} สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (36) จึงทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยกรดแอสคอร์บิคไม่สามารถดำเนินไปได้ และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น ในช่วง 12 สัปดาห์แรก และมีแนวโน้มที่จะคงที่ในสัปดาห์ถัดไป (รูปที่ 4.27)

4.1.2.5 ปริมาณวิตามินซีที่เหลือในผลิตภัณฑ์

จากการทดลอง พบว่า ชนิดของเครื่องแช่แข็ง

ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ในลิ้นจี่แช่แข็ง (ตารางที่ 4.49) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จะมีปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer และ plate freezer (ตารางที่ 4.52) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การแช่แข็งเร็วมากเช่นในกรณีของ cryogenic freezer ทำให้โอกาสเกิดปฏิกิริยา oxidation ของกรดแอสคอร์บิคลดน้อยลง มีการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อและวิตามินซีน้อยกว่าการแช่แข็งอีก 2 วิธี รวมทั้งการใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็นใน cryogenic freezer นั้น ไนโตรเจนเหลวที่พ่นเข้าไปในเครื่อง จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเนื้อผลไม้ ทำให้ไนโตรเจนเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ นั่นคือ ภายในเครื่องแช่แข็งจะเต็มไปด้วยกาซไนโตรเจน (9) โอกาสที่กรดแอสคอร์บิคจะเกิดปฏิกิริยา oxidation เนื่องจากออกซิเจนจึงเป็นไปได้น้อย ดังนั้น ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จึงมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่มากกว่าวิธีแช่แข็งอีก 2 วิธี ส่วนการแช่ลิ้นจี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์นั้น วิตามินซีในเนื้อเยื่อสามารถแพร่ออกมาสู่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ได้ ทำให้ปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.53) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ปริมาณวิตามินซีจะลดลงประมาณ 6.3 mg/100g หรือประมาณ 24% เมื่อเก็บนาน 24 สัปดาห์ (รูปที่ 4.29)

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์

4.1.3.1 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในลิ้นจี่แช่แข็ง คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.55) โดย cryogenic freezer จะมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เหลืออยู่มากกว่ากรณีของ air blast freezer และ plate freezer (ตารางที่ 4.56) เนื่องจาก cryogenic freezer เป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็วมาก การทำลายเซลเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากผลึกน้ำแข็งเกิดน้อยกว่าในกรณีของ air blast freezer และ plate freezer (18) และอีกประการหนึ่งคือ ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer ไม่ได้บรรจุใส่ถุง HDPE ก่อนแช่แข็ง โอกาสที่จะปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อนแช่แข็งจึงมีมากกว่า ส่วนการแช่ลิ้นจี่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะเป็นการล้างกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกไปบางส่วนก่อนแช่แข็ง ดังนั้นจึงมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์อยู่น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.57) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น จำนวนเชื้อจุลินทรีย์จะลดลงตามระยะเวลาเก็บ(รูปที่ 4.30) เนื่องจากการแช่แข็งทำให้น้ำภายในเซลของจุลินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายต่าง ๆ ภายในเซลมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สาสารถเจริญได้ (25) จุลินทรีย์บางส่วนจึงตายไปและบางส่วนถูกระงับการเจริญเติบโตด้วยค่า a_w ที่ลดลงและอุณหภูมิที่เย็นจัดในภาวะแช่แข็งที่ -18 องศาเซลเซียส

4.1.3.2 จำนวนเชื้อราและยีสต์

ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนเชื้อราและยีสต์ในลิ้นจี่แช่แข็ง คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (ตารางที่ 4.55) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer มีจำนวนเชื้อราและยีสต์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด รองลงมาคือลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer และ plate freezer (รูปที่ 4.31) และลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีจำนวนเชื้อราและยีสต์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.31) และเมื่อเก็บตัวอย่างนานขึ้นจำนวนเชื้อราและยีสต์ก็ลดลงตามด้วย (รูปที่ 4.32) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับในกรณีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เหลือในลิ้นจี่ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดแช่แข็ง

4.1.3.3 ปริมาณโคลิฟอร์ม

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโคลิฟอร์มในลิ้นจี่แช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมทุกอิทธิพล (ตารางที่ 4.55) โดยลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จะมีปริมาณโคลิฟอร์มเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด ในขณะที่ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer และ plate freezer จะมีปริมาณโคลิฟอร์มไม่แตกต่างกันที่ทุกความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.33 และ 4.34) ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีปริมาณโคลิฟอร์มน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ที่ทุกชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.33 และ 4.35) และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นปริมาณโคลิฟอร์มก็ลดลงตามด้วย (รูปที่ 4.34 และ 4.35) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับในกรณีของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เหลือในลิ้นจี่แช่แข็ง

4.1.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็ง

4.1.4.1 สี

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็ง พบว่า อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านสีของลิ้นจี่ปอกเปลือกแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.59) จากการพิจารณาผลของอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ในกรณีของลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer และ cryogenic freezer การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีคะแนนการยอมรับทางด้านสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากแคลเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออนสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ ดังได้อธิบายแล้วในข้อ 4.1.2.4 ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic

freezer มีคะแนนการยอมรับทางด้านสีต่ำสุด เนื่องจากเกิด freezer burn ที่ผิวของลิ้นจี่ที่ไม่ได้บรรจุในภาชนะบรรจุขณะแช่แข็ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น ส่วนผลของอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บนั้น ก็เช่นเดียวกันคือลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer มีคะแนนการยอมรับต่ำสุด และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นคะแนนการยอมรับจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อย แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.1.4.2 กลิ่น

ระยะเวลาเก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็งมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นของลิ้นจี่แช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.59) เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น คะแนนการยอมรับก็ลดลง (รูปที่ 4.38) แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.1.4.3 รสชาติ

ปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระยะเวลาเก็บ และอิทธิพลร่วมกันของทั้งสามปัจจัย (ตารางที่ 4.59) ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วยเครื่องแช่แข็งทั้งสามชนิด มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน ลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะมีคะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติต่ำกว่าลิ้นจี่ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ทุกชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.39 และ 4.41) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์มีรสฝาด และการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% ซึ่งเป็นสารละลายเจือจาง อาจทำให้น้ำตาลหรือกรดที่เป็นตัวให้รสชาติละลายออกสู่สารละลายได้ ลิ้นจี่จึงมีรสชาติด้อยลง แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนผลของระยะเวลาเก็บนั้น พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น คะแนนการยอมรับจะลดลงที่ทุกชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.40 และ 4.41) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บแช่แข็ง

4.1.4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) คือ อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.59) จากการพิจารณาผลของอิทธิพลร่วม พบว่า ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer ได้รับคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย plate freezer และ air blast freezer และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นคะแนนการยอมรับมีแนวโน้วไม่คงที่ แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สาเหตุที่ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer มีคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่า เนื่องจากเป็นเครื่องแช่แข็งที่มีอัตราการแช่แข็งเร็วมาก ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก การทำลายเซลเนื้อเยื่อจึงเกิดน้อยกว่าลักษณะเนื้อสัมผัสจึงดีกว่า

4.2 ลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็ง

กรณีของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็งนั้น ศึกษาการรักษาสีของเปลือกลิ้นจี่ให้ยังคงมีสีแดง โดยแช่ลิ้นจี่ทั้งผลในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก 10% กรดแอสคอร์บิค 1% และน้ำตาลทราย 10% นาน 0 30 60 และ 120 นาที แช่แข็งด้วยเครื่องแช่แข็ง 2 ชนิด คือ air blast freezer และ cryogenic freezer และเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ห้องแช่แข็งอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทุก 6 สัปดาห์ ดังนั้น ในกรณีของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็งจึงศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ชนิดของเครื่องแช่แข็ง 2 ชนิด คือ air blast freezer และ cryogenic freezer ระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม 4 ระดับ คือ 0 30 60 และ 120 นาที และระยะเวลาเก็บ 5 ระดับ คือ 0 6 12 18 และ 24 สัปดาห์

4.2.1 การตรวจสอบคุณภาพของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็งทางกายภาพ

4.2.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็ง พบว่า อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม และอิทธิพลร่วมกันระหว่างระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมและระยะเวลาเก็บมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.61) จากการพิจารณาผลของอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม (รูปที่ 4.44) ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer มีปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากผลิตภัณฑ์มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer ที่ทุกระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม เนื่องจากลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ใช้เวลาในการแช่แข็งนานกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer และเป็นวิธีแช่แข็งที่อาศัยลมเย็นที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำพัดผ่านผลิตภัณฑ์ระหว่างแช่แข็ง ลมเย็นนี้จะรับเอาความชื้นจากผลิตภัณฑ์ โอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะสูญเสียน้ำหนักจึงเกิดได้มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer ซึ่งมีไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็น โดยพ่นไนโตรเจนเหลวลงบนผลิตภัณฑ์ แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารให้ความเย็นและผลิตภัณฑ์ ไนโตรเจนเหลวจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ถึงแม้ว่าเครื่องแช่แข็งชนิดนี้จะมีพัดลมช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของไนโตรเจนเช่นเดียวกับ air blast freezer แต่ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer ใช้เวลาแช่แข็งน้อยกว่า air blast freezer ถึง 5 เท่า (ตารางที่ 4.32) ดังนั้นโอกาสที่ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จะสูญเสียความชื้นจึงเกิดได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ส่วนการแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม และเคลือบอีกครั้งหลังแช่แข็งด้วยสารละลายผสม จะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในเครื่องแช่แข็งทั้ง 2 ชนิด เมื่อระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนานขึ้นก็ไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มคงที่ สาเหตุที่ลิ้นจี่ที่ไม่ได้แช่และเคลือบสารละลายผสม มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าเนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำออกจากเปลือกลิ้นจี่ เปลือกลิ้นจี่จะแห้ง กรอบและแตกง่าย และมีสีน้ำตาล ส่วนในกรณีของลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมและเคลือบด้วยสารละลายผสมอีกครั้งหลังแช่แข็ง มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการแช่ในสารละลายผสมและการเคลือบด้วยสารละลายผสมอีกครั้งหลังแช่แข็งสารละลายจะเป็นเกล็ดน้ำแข็งหุ้มรอบผลลิ้นจี่ เป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากลิ้นจี่ได้เป็นอย่างดี (17) ถึงแม้จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักก็เป็นการสูญเสียน้ำหนักจากสารละลายที่เคลือบผลลิ้นจี่มากกว่าจากผลลิ้นจี่ ดังนั้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายผสมจึงมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่แช่ในสารละลายผสม

4.2.1.2 ความแน่นเนื้อ

ปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของลิ้นจี่แช่แข็งหลังละลายน้ำแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.61) เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ก็ยิ่งลดลง (รูปที่ 4.46) เนื่องจากเนื้อเยื่อผลิตภัณฑ์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น และจากการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง (18) ขณะเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ทำให้ลิ้นจี่มีความแน่นเนื้อลดลง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ สรุปได้ว่าลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมก่อนแช่แข็งและเคลือบด้วยสารละลายผสมอีกครั้งหลังแช่แข็งมีสมบัติทางกายภาพดีกว่าลิ้นจี่ที่ไม่แช่ในสารละลายผสม

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็ง

4.2.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทาง pH ของผลิตภัณฑ์แช่แข็ง พบว่า อิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาที่ใช้แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมมีผลต่อ pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.63) โดยในกรณีของลิ้นจี่แช่แข็งด้วย air blast freezer มี pH ลดลง เมื่อระยะเวลาที่ใช้แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แม้ว่าจะแช่ในสารละลายผสมนานถึง 120 นาที (รูปที่ 4.47)

4.2.2.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ

จากการทดลอง พบว่า ทุกปัจจัยไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.63) โดยมีค่าประมาณ 17 $^{\circ}$Brix

4.2.2.3 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้

ชนิดของเครื่องแช่แข็ง และระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม มีผลต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่

4.63) จากการพิจารณาผลของชนิดของเครื่องแช่แข็ง พบว่า ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer (ตารางที่ 4.64) ส่วนผลของระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนั้น พบว่า ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 120 นาทีจะมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้มากที่สุด ลิ้นจี่ที่ไม่แช่ในสารละลายผสมมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ไม่แตกต่างจากลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 30 และ 60 นาที (ตารางที่ 4.65) ทั้งนี้เนื่องจากลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 120 นาที มีโอกาสที่กรดจะแพร่เข้าไปในเนื้อลิ้นจี่ได้มาก ดังนั้นเนื้อผลไม้จึงมีปริมาณกรดอยู่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ที่ลดลงเมื่อแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนานขึ้น (รูปที่ 4.47)

4.2.2.4 ระดับการเกิดสีน้ำตาล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็ง พบว่า ระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงระดับการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.66) นั่นคือ เมื่อแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนานขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรก็เพิ่มขึ้นตามด้วย (ตารางที่ 4.66) เนื่องจากการแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนานนั้น โอกาสที่กรดจะแพร่เข้าไปในเนื้อลิ้นจี่ก็มีมากขึ้น pH ของเนื้อลิ้นจี่จึงลดลง anthocyanin จะอยู่ในรูป flavylium cation มากขึ้น เนื้อลิ้นจี่จึงมีสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรจึงเพิ่มขึ้น

4.2.2.5 ปริมาณวิตามินซีที่เหลือในผลิตภัณฑ์

จากการทดลอง พบว่า ปัจจัยทุกปัจจัยและอิทธิพลร่วมทุกอิทธิพลมีผลต่อปริมาณวิตามินซีที่เหลือในผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.63) ดังนั้นจึงต้องพิจารณาผลของอิทธิพลร่วมกันของทั้งสามปัจจัย โดยดูผลของอิทธิพลร่วมของสองปัจจัยทั้งสามอิทธิพลร่วมควบคู่กันไป (รูปที่ 4.48-4.50) พบว่า ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ที่ทุกระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมและทุกระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.48 และ 4.49) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 4.1.2.5 ผลของการแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม พบว่าปริมาณวิตามินซีที่เหลือในผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.48 และ 4.50) ส่วนผลของระยะเวลาเก็บพบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นปริมาณวิตามินซีที่เหลือในผลิตภัณฑ์ลดลงตามระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.49 และ 4.50) เนื่องจากปฏิกิริยา oxidation ของวิตามินซีที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดระยะเวลาเก็บ

4.2.3 การประเมินผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

4.2.3.1 สีเปลือก

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของลิ้นจี่แช่

คะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.72) เนื่องจากลิ้นจี่ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายผสม เปลือกลิ้นจี่จะแห้งและแตก และมีกลิ่นเหม็นเขียว ส่วนลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมจะมีกรดและน้ำตาลที่ช่วยรักษากลิ่นของผลิตภัณฑ์ไว้ (8,9) ทำให้คะแนนการยอมรับสูงกว่าลิ้นจี่ที่ไม่แช่ในสารละลายผสม

4.2.3.4 รสชาติ

จากการศึกษา พบว่า ระยะเวลาเก็บและอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 4.68) จากการพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของเครื่องแช่แข็งและระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม พบว่า ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมและเคลือบอีกครั้งด้วยสารละลายผสม ให้คะแนนการยอมรับทางรสชาติดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ในสารละลายผสม เนื่องจากผลลิ้นจี่ถูกเคลือบไว้ด้วยสารละลายผสม ซึ่งกรดและน้ำตาลจะช่วยรักษากลิ่นและรสชาติของลิ้นจี่ และสารละลายที่เคลือบนั้นจะช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นของเปลือกลิ้นจี่ เปลือกไม่แห้ง ไม่แตกง่ายและไม่เป็นสีน้ำตาลเช่นในกรณีของลิ้นจี่ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายผสม เมื่อพิจารณาถึงผลของระยะเวลาเก็บ พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างนานขึ้นคะแนนการยอมรับจะลดลง แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.2.3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ ระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมและระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4.68) จากการพิจารณาผลของระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสม พบว่า ลิ้นจี่ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายผสม และลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 120 นาทีมีคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำที่สุดอยู่ในเกณฑ์เนื้อค่อนข้างแน่นและเหนียวเช่นเดียวกับลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 60 นาที ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 30 นาทีได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดและอยู่ในเกณฑ์เนื้อแน่น กรอบ ไม่เละ (ตารางที่ 4.73) เนื่องจากลิ้นจี่ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายผสม จะมีการสูญเสียความชื้นขณะแช่แข็ง เปลือกจึงแตกง่าย ขณะเดียวกันเนื้อเยื่อผลไม้จะดันขยายออกมาตามรอยแตกของเปลือกเนื่องจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของน้ำแข็งระหว่างแช่แข็ง เป็นผลให้เนื้อเยื่อฉีกขาด ลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังละลายน้ำแข็งจึงค่อนข้างนิ่ม ส่วนลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายนาน 120 นาที มีโอกาสที่น้ำจะผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อมากที่สุด เพราะฉะนั้นโอกาสที่เนื้อเยื่อจะถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งจึงมีมาก คะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสจึงต่ำกว่าลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 30 นาที ส่วนผลของระยะเวลาเก็บนั้น พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้นคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง (รูปที่ 4.54) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็ง ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เซลถูกทำลายเพิ่มขึ้น (18)

จากผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมและเคลือบด้วยสารละลายผสมอีกครั้งหลังแช่แข็ง มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีกว่าลิ้นจี่ที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายผสม โดยแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนาน 30 นาทีก็เพียงพอที่จะรักษาสีเปลือกลิ้นจี่ให้ยังคงมีสีแดง และมีคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดีและเป็นที่ยอมรับ

ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งหมดของลิ้นจี่ทั้งเปลือกแช่แข็ง แสดงให้เห็นว่า ลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย cryogenic freezer จะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า และมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่แข็งด้วย air blast freezer ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมก่อนแช่แข็งจะมีคุณภาพดีกว่าลิ้นจี่ที่ไม่แช่ในสารละลายผสมทั้งในด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยการแช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมนาน 30 ,60 และ 120 นาทีไม่ให้ความแตกต่างกันทางคุณภาพทางกายภาพ แต่มีความแตกต่างกันทางด้านคุณภาพทางเคมีและทางประสาทสัมผัส ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 120 นาทีจะมี pH ต่ำ ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้มากกว่าลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมนาน 30 และ 60 นาที มีระดับสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สูงสุด และมีคะแนนการยอมรับทางลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำสุด ดังนั้นระยะเวลาที่แช่ลิ้นจี่ในสารละลายผสมที่เหมาะสม คือ แช่ในสารละลายผสมนาน 30 นาที และเคลือบอีกครั้งด้วยสารละลายผสมนาน 5 วินาทีหลังแช่แข็ง