บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีในลิ้นจี่ระหว่างกระบวนการแปรรูป ที่เพาะปลูกได้ในเขตภาคเหนือจำนวน 4 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย เพื่อใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพที่สำคัญ สำหรับการเก็บเกี่ยว และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประกอบการตัดสินใจคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต่อไป โดยเฉพาะการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สารก่อภูมิแพ้ น่าจะเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปสู่แนวทางในการลด และ/หรือ กำจัดสารก่อภูมิแพ้ที่มีอยู่ในลิ้นจี่ ระหว่างกระบวนการแปรรูป ซึ่งผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลจากการศึกษาความแตกต่างด้านสายพันธุ์ของลิ้นจี่ต่อองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14 กิโลดาลตัน ปรากฏให้เห็นเป็นแถบของปฏิกิริยาอย่างชัดเจน และยังพบสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในช่วง 43-67 กิโลดาลตัน เช่นเดียวกันทั้ง 4 สายพันธุ์ ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์มากที่สุด โดยปริมาณของสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์มีส่วนเกี่ยวข้องที่ทำให้ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีค่าสี L*, a* และ b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากแอนโธไซยานินที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล และฟลาโวนอยด์

ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์เป็นแหล่งวิตามินซีที่ดี เนื่องจากมีปริมาณวิตามินสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ถึง 4 เท่า โดยมีปริมาณเท่ากับ 70.956 ± 0.001 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ลิ้นจี่สายพันธุ์นี้มีค่าเนื้อสัมผัสที่สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ อีกด้วย ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของปริมาณกรดอินทรีย์ที่ไตเตรตได้ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก กับปริมาณ

น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์นั้น ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีปริมาณแตกต่างกัน โดยลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจามีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดมากกว่าสายพันธุ์จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย ตามลำดับ ในขณะที่ลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะ มีปริมาณของน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส มากกว่าลิ้นจี่ทั้ง 3 สายพันธุ์ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา และโอเฮียะ จะมีปริมาณกรดอินทรีย์กับปริมาณน้ำตาลมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์อื่น ๆ ก็ตาม ก็ไม่ส่งผลให้ลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ ตรงกันข้ามกลับพบว่าลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากที่สุด

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดอินทรีย์ และปริมาณน้ำตาลแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณของสารประกอบเพคตินอีกด้วย โดยเฉพาะเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ จากการวิเคราะห์พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณสารประกอบเพคติน ในรูปของเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ เพคตินที่ละลายได้ในด่าง และเพคตินทั้งหมดมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย โอเฮียะ และกวางเจา ตามลำดับ จึงอาจเป็นสาเหตุให้ลิ้นจี่พันธุ์นี้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจามีปริมาณของกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้มากที่สุด จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่สายพันธุ์ดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุดด้วย โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 4.07 ± 0.015 ถึง 4.54 ± 0.032

การศึกษาการกระจายขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีในผลลิ้นจี่ โดยพิจารณาถึงการกระจายขององค์ประกอบดังกล่าวในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ ซึ่งการทดลองนี้ใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี เนื่องจากลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์นี้ นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญ สำหรับกระบวนการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง และกระบวนการแช่เยือกแข็ง

ลักษณะปรากฏภายนอกของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ เปลือกมีสีแดงเข้ม ผิวเปลือกแห้งและแน่น ในขณะที่ส่วนเนื้อมีสีขาวและฉ่ำน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบทาง

กายภาพ และทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอล สารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารประกอบเพคติน ค่าที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 3.49±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่าในเนื้อถึง 4.26 เท่า ในขณะที่เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 1.54±0.051 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อลิ้นจี่ สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย พบว่า มีปริมาณมากกว่าในเนื้อถึง 1212 และ 500 เท่า ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์นั้น มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอล เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์มากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย 3.3 เท่า ในขณะที่เนื้อลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณของสารประกอบดังกล่าวใกล้เคียงกัน ผลจากการวิเคราะห์ สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์นั้น เป็นข้อมูลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าสีในระบบฮันเตอร์ โดยเฉพาะค่าสี a* ที่แสดงถึงสีแดง ซึ่งเป็นผลมาจากแอนโธไซยานินที่เป็นรงควัตถุหลักในการทำให้ลิ้นจี่มีสีแดง และเป็นสารประกอบฟีนอลที่พบมากในลิ้นจี่ เปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ นอกจากจะมีสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์มากกว่าเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยแล้ว ยังมีค่าสี a* มากกว่าด้วย จึงทำให้เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีสีแดงเข้มกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย สำหรับค่าสี L* ที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือก มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 สายพันธุ์ ยกเว้นค่าสี b* ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบเพคติน ทั้งในรูปของเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต เพคตินที่ละลายได้ในด่าง และเพคตินทั้งหมด พบว่า เนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณสารประกอบเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ และเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตน้อยกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย โดยผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่มีค่ามากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ทั้งนี้เป็นเพราะผนังเซลล์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ และยังไม่ถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ Polygalacturonases และ β-galactosidase เป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นโครงสร้างของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์จึงมีความแข็งแรงกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย

ความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส ซูโครส และปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก ทั้งในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลซูโครส และกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย และปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ลิ้นจี่สายพันธุ์ดังกล่าว มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าด้วย นอกจากนี้ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ยังเป็นแหล่งของวิตามินซีที่ดี เนื่องจากมีปริมาณวิตามินซีดังกล่าวสูงกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย

สำหรับการประเมินความสามารถในการทำให้เกิดอาการแพ้ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย พบสารที่ทำให้เกิดการแพ้มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14 กิโลดาลตัน เช่นเดียวกันทั้ง 2 สายพันธุ์ และผลจากการทดสอบ EAST-Inhibition แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำให้เกิดอาการแพ้ที่เพิ่มมากขึ้นในส่วนของเปลือกมากกว่าในส่วนเนื้อ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในส่วนของเปลือกที่มีมากกว่า

ในการศึกษาผลกระทบของกระบวนการแปรรูปลิ้นจี่ในระดับอุตสาหกรรมต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกศึกษากระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน ในรูปแบบของการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง และกระบวนการแช่เยือกแข็ง เนื่องจากทั้งสองกระบวนการนี้มีการผลิตมากเป็นลำดับต้น ๆ เมื่อเทียบกับการผลิตในกระบวนการอื่น ๆ

การแปรรูปลิ้นจี่โดยใช้ความร้อน ในรูปแบบของการแปรรูปเป็นลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องโดยทั่วไป การผลิตในระดับอุตสาหกรรม นิยมใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่มีการเพาะปลูกมากที่สุดในเขตภาคเหนือ สามารถให้ผลผลิตสม่ำเสมอตลอดทุกปี และมีปริมาณเพียงพอต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋องในการทดลองนี้ ใช้วิธีการเดียวกับการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรมทุกขั้นตอน กล่าวคือ

เริ่มจากการคัดเลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยที่มีความสุกเหมาะสม นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และเจาะเมล็ดออก แล้วแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เป็นเวลา 10-15 นาที ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ บรรจุในกระป๋องขนาด 307×409 เติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของน้ำตาล 30 องศาบริกซ์ และกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จากนั้นไล่อากาศที่อุณหภูมิ 80-83 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ปิดฝากระป๋อง และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที นำผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผลิตได้มาศึกษาผลกระทบของกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน ต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งในการศึกษาพบว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบดังกล่าวของลิ้นจี่ ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของสารก่อภูมิแพ้ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สารก่อภูมิแพ้ พบว่า กระบวนแปรรูปโดยใช้ความร้อนสามารถยับยั้งหรือลดความรุนแรงของสารดังกล่าวในลิ้นจี่ลงได้ หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว อย่างไรก็ตาม ยังพบสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 14-65 กิโลดาลตัน ที่มีความเสถียรต่อความร้อนในระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ

ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง มีค่าสีในระบบฮันเตอร์ (L*, a* and b*) เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหลังผ่านกระบวนการผลิต ยกเว้นค่าสี a* ซึ่งแสดงถึงสีแดง มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้นจาก 1.29 ± 0.300 เป็น 4.22 ± 0.226 และเมื่อวิเคราะห์ค่าสีดังกล่าวในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่มีค่าสี a* เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ในขณะที่ค่าสี L* และ b* ไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก สำหรับค่าเนื้อสัมผัสที่วัดออกมาในรูปของ shear force ซึ่งใช้บ่งชี้ถึงความแน่นเนื้อของลิ้นจี่นั้น พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีค่าเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเท่ากับ 27.45 ± 0.433 นิวตัน หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิต ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในขั้นตอนการผลิต ซึ่งสารดังกล่าวช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อของลิ้นจี่ก่อนที่จะผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน จึงทำให้ค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น แต่เมื่อวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา ลิ้นจี่มีค่าเนื้อสัมผัสลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงแรงเต่งของเซลล์ ในระหว่างที่เนื้อลิ้นจี่ถูกแช่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าภายในเซลล์ ทำให้สูญเสียแรงเต่งของเซลล์ ดังนั้นค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของลิ้นจี่ หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน พบว่า ลิ้นจี่มีปริมาณกรดอินทรีย์ ทั้งในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 0.33 ± 0.002, 0.36 ± 0.002 และ 0.34 ± 0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ แต่ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีปริมาณกรดลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดอินทรีย์ และมีความสำคัญต่อการกำหนดอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อนั้น จากผลการวิเคราะห์พบว่าลิ้นจี่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 3.76 ± 0.053 เป็น 3.63 ± 0.045 หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมกรดซิตริกลงไปในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง โดยจุดประสงค์ของการเติมกรดซิตริกลงไปก็เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำกว่า 4.5 เพื่อช่วยลดอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ และลดความเสียหายอันเนื่องมาจากการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการผลิต เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกระยะที่ทำการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ที่มีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย หลังจากการผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน พบว่า ลิ้นจี่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสลดลงเท่ากับ 3.240 ± 0.042 และ 6.568 ± 0.113 กรัม ต่อ 100 กรัม ยกเว้นน้ำตาลซูโครสที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ เป็นผลมาจากการเติมน้ำเชื่อมลงไปในกระป๋อง เพื่อช่วยควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ให้คงที่ ทำให้สามารถคงรูปร่างที่ดีเอาไว้ได้ โดยน้ำเชื่อมที่เติมลงไปนั้นส่วนใหญ่เตรียมได้จากน้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่หาได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่น จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยลดลงจาก 4.665 ± 0.237 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 3.654 ± 0.130 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6 ในขณะเดียวกันปริมาณน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส มีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดช่วงของการเก็บรักษา ซึ่งการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นผลมาจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสในสภาวะที่เป็นกรด (Acid hydrolysis) จึงทำให้น้ำตาลทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงของการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ให้ผลที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ซึ่งพบว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส ภายหลังจากกระบวนการแปรรูป ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยเพิ่มขึ้นจาก 18.14±0.001 เป็น 22.87±0.200 องศาบริกซ์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เป็นผลมาจากการออสโมซิสของน้ำเชื่อมเข้าสู่เนื้อลิ้นจี่ และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์แปรรูประหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้เป็นเพราะองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบของผลิตภัณฑ์เริ่มเข้าสู่สมดุล จึงไม่ค่อยพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากนักในระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง พบว่า มีปริมาณลดลงจาก 17.985 ±2.188 เป็น 2.348±0.344 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิต ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน ทำให้สูญเสียปริมาณวิตามินซีถึงร้อยละ 86.9 นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังมีแนวโน้มในการสูญเสียวิตามินซีอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 0.798±0.226 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 0.609±0.615 และ 0.573±0.348 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 6 ตามลำดับ ผลการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปนอกจากจะทำให้ลิ้นจี่สูญเสียปริมาณวิตามินซีแล้ว ยังมีผลทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพหรือถูกทำลายอีกด้วย โดยปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณลดลงจาก 1.05±0.025 กรัม ต่อ 100 กรัม เป็น 0.88±0.016 กรัม ต่อ 100 กรัม หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิต และเมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่มีการสูญเสียปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.78 ในเดือนที่ 2 เป็นร้อยละ 13.69 ในเดือนที่ 6 การสูญเสียปริมาณโปรตีนหรือการทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพ อันเนื่องมาจากการใช้ความร้อนในกระบวนการผลิต และการเก็บรักษานั้น อาจเป็นผลดีในแง่ของการลดลงของปริมาณหรือยับยั้งความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลอยู่ระหว่าง 10-70 กิโลดาลตัน

เมื่อพิจารณาสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงจาก 91.574±0.373 เป็น 64.902±0.001 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ มีความสำคัญอย่างมากต่อผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา Oxidative browning และทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู-แดง (Pink discoloration) อันเนื่องมาจาก Leco-anthocyanidins ถูกชักนำจากการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะที่มีกรด โดยส่วนใหญ่จะเกิดกับผลไม้ที่มีเนื้อสีขาว เช่น ลิ้นจี่ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่ปรากฏในผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าผลไม้ชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในระหว่างการเก็บรักษา จะทำให้สีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องเปลี่ยนเป็นสีแดงมากขึ้น ซึ่งผลสอดคล้องกับค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

ปริมาณสารประกอบเพคติน ทั้งในรูปของเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต เพคตินที่ละลายได้ในด่าง และเพคตินทั้งหมด ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย หลังผ่านกระบวนการผลิต มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นเพคตินที่ละลายได้ในน้ำที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูป ทั้งนี้เป็นผลมาจากความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ของสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ไปเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ ทำให้ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

สำหรับกระบวนการแช่เยือกแข็ง ใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ทั้งผล ซึ่งผ่านการคัด ตัดแต่งขั้ว และแช่ในสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 20 ppm แล้วจึงลดอุณหภูมิให้ต่ำลงในห้องเย็น ก่อนที่จะนำมาผ่านเครื่องแช่เยือกแข็งแบบ IQF ที่ผันแปรเวลาในการแช่แข็งเป็น 2 ระดับ คือ 23 นาที ซึ่งเป็นระดับปกติที่ใช้ในอุตสาหกรรม และ 28 นาที เพื่อศึกษาผลกระทบจากการผันแปรเวลาในการแช่แข็ง ต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา

ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการแช่เยือกแข็งลิ้นจี่แบบ IQF ที่ผันแปรเวลาในการแช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ ไม่สามารถทำให้สารก่อภูมิแพ้ลดลง หรือยับยั้งความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ลงได้ และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีรูปแบบของสารก่อภูมิแพ้ที่คล้ายกัน โดยโปรตีนที่จับกับ IgE มีน้ำหนักโมเลกุล 14 กิโลดาลตัน ทำให้สามารถมองเห็นแถบของปฏิกิริยาอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 35 กิโลดาลตัน นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งยังไม่สามารถลดความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ลงได้เช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบอื่น ๆ ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งทั้ง 2 สภาวะนั้น พบว่า ค่าสีในระบบฮันเตอร์ (L*, a* และ b*) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้ในวัตถุดิบ ซึ่งค่าวิเคราะห์ดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ในขณะที่ความแน่นเนื้อของลิ้นจี่ได้รับผลกระทบจากกระบวนการดังกล่าวมากกว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเนื้อสัมผัสลดลงร้อยละ 7.8 และ 1.2 หลังจากผ่านการแช่แข็งเป็นเวลา 23 และ 28 นาที ตามลำดับ และภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าเนื้อสัมผัสลดลงเท่ากับ 23.44±3.012 นิวตัน ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าเนื้อสัมผัสลดลงเท่ากับ 26.67±3.241 นิวตัน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ จะได้รับผลกระทบจากกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา แต่ค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 6 ยังคงมีค่าสูงกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์อื่น ๆ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เลือกใช้สายพันธุ์นี้ เป็นวัตถุดิบในการผลิตลิ้นจี่แช่แข็ง เพราะหลังจากที่ผ่านการละลายน้ำแข็งแล้ว ลิ้นจี่ยังคงรักษารูปทรง และยังคงมีสภาพใกล้เคียงกับผลสด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะนั้น พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที ภายหลังจากการผ่านกระบวนการผลิต ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 65.373±3.734 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม เป็น 57.377±0.146 และ 56.216±0.460 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในระหว่างการเก็บรักษา ลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีแนวโน้มในการสูญเสียปริมาณวิตามินซีอย่างต่อเนื่องภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6

เดือน คิดเป็นร้อยละของการสูญเสียเท่ากับ 27 และ 22.5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณวิตามินซีของลิ้นจี่แช่แข็งที่เหลือภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน มีปริมาณสูงมาก จึงทำให้ลิ้นจี่แช่แข็งสามารถคงคุณค่าทางโภชนาการ และเป็นแหล่งวิตามินซีที่ดีคล้ายกับผลสด

เมื่อพิจารณาผลกระทบจากกระบวนการแช่เยือกแข็ง ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนในลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที พบว่า ลิ้นจี่มีการสูญเสียปริมาณโปรตีนจาก 0.81±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม เป็น 0.80±0.011 และ 0.76±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในระหว่างการเก็บรักษาช่วงเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งมีการสูญเสียปริมาณโปรตีนเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10.6 และ 7.8 สำหรับลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ตามลำดับ การลดลงของปริมาณโปรตีนในลิ้นจี่แช่แข็งเป็นข้อมูลที่สอดคล้องกับการตรวจสอบปฏิกิริยาทางอิมมูนของสารก่อภูมิแพ้ และเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กระบวนการแช่เยือกแข็งไม่สามารถทำให้ปริมาณของสารก่อภูมิแพ้ลดลง หรือยับยั้งความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ลงได้ เพราะปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กระบวนการแช่เยือกแข็งลิ้นจี่ นอกจากจะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี บางอย่างข้างต้นแล้ว ยังมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาอินเวอร์ชั่นของน้ำตาลซูโครส เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ลิ้นจี่แช่แข็งสูญเสียน้ำตาลซูโครส อย่างไรก็ดีในทางตรงกันข้าม ผลของการเกิดปฏิกิริยาอินเวอร์ชั่นนี้ ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

สำหรับสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้หลังจากผ่านกระบวนการผลิต มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 50.48 ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที และเพิ่มขึ้นร้อยละ 64.40 สำหรับลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที ในขณะที่สารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะดังกล่าว มีปริมาณเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 3.65 และ 39.14 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบเพคติน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน โดยภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีปริมาณของสารประกอบเพคติน ในรูปของเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต และเพคตินทั้งหมดสูงที่สุด

ถึงแม้ว่ากระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บในสภาวะแช่แข็ง ไม่สามารถลดหรือยับยั้งความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ของสารก่อภูมิแพ้ลงได้ แต่กระบวนแช่เยือกแข็งก็เป็นวิธีการถนอมรักษาอาหารที่มีความสำคัญมากวิธีหนึ่ง ที่ช่วยรักษาคุณภาพของอาหารให้มีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารสด สามารถรักษาสี กลิ่นและรสชาติ ตลอดจนคุณค่าทางอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการถนอมอาหารโดยวิธีอื่น ๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการแช่เยือกแข็ง บริเวณผิวเปลือกของลิ้นจี่แช่แข็งบางผลจะปริแตก เนื่องจากไม่สามารถทนต่อการเสียหายจากการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง

การแก้ไขปัญหานี้ อาจทำได้โดยแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ก่อนนำไปผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้เปลือกลิ้นจี่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น เนื่องจากแคลเซียมอิออนจะไปจับหมู่คาร์บอกซิลที่มีอยู่ในโมเลกุลของเพคตินได้เป็นแคลเซียมเพคเตต ทำให้ผนังเซลล์สลายตัวได้ยากขึ้น นอกจากนี้แคลเซียมอิออนยังสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ไฮโดรเลส (Hydrolases) และเพคตินเอนไซม์ (Pectic enzymes) ที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายกรดเพคติน และสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ของผลไม้ได้อีกด้วย

2. ในขั้นตอนของการสกัดสารก่อภูมิแพ้ อาจจะใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) แทนการใช้น้ำแข็งแห้ง เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของผลไม้ให้ต่ำลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าน้ำแข็งแห้ง ซึ่งทำได้โดยจุ่มเนื้อลิ้นจี่ที่ชั่งน้ำหนักแล้วลงในไนโตรเจนเหลว จนกระทั่งเนื้อลิ้นจี่แข็งตัว จะใช้เวลาประมาณ 10-20 วินาที จากนั้นจึงนำไปใส่ในขวด Duran ที่มีอะซิโตนอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสอยู่ แล้วจึงทำการสกัดสารก่อภูมิแพ้ในขั้นตอนต่อไป